ISTORIA FIZICII

MAX VON LAUE

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

MAX VON LAUE

MAX VON LAUE

ISTORIA FIZICII

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ
Bucureşti, 1965

În romineşte de :
I. GORNSTEIN

Îngrijirea ştiinţifică :
E. FRIEDLÄNDER
membru coresp. al Acad. R.P.R.

Coperta de :
I. PETRESCU

MAX VON LAUE

GESCHICHTE DER PHYSIK

Ullstein Bücher, Berlin, 1958

CUVÎNT ÎNAINTE

Scrisă de un mare savant, autorul mai multor lucrări fundamentale în teoria razelor Röntgen, în termodinamica radiației, în supraconductibilitate, în teoria relativității etc., Istoria fizicii *a lui Max von Laue se impune prin bogăția ei de idei, uimitoare pentru volumul redus al cărții, precum și prin înțelegerea adîncă și cuprinzătoare a legilor, a fenomenelor, a metodelor și a dezvoltării acestei științe.*

Meditațiile îndelungate și profunde asupra ideilor fizicii, urmărirea lor atentă din momentul în care evoluția lor marchează orientarea spre concepțiile moderne și pînă la lucrările și la teoriile contemporane cu el, l-au condus pe Laue, în problemele principale (realitatea lumii materiale, valoarea cunoașterii fizice și adevărul obiectiv, interdependența diferitelor capitole ale fizicii și legătura ei cu practica, cu celelalte științe și cu cultura societății), la concluzii care concordă pe deplin cu tezele materialismului dialectic.

Exprimarea personală, stilul simplu, lapidar, adesea abrupt, de monolog al profesorului în fața studenților, în care principiile și concluziile sînt net cristalizate, conferă Istoriei fizicii *un farmec deosebit.*

Traducerea în limba romînă s-a străduit să nu altereze aceste aspecte.

În dorința de a-i oferi cititorului un tablou mai complet, prezenta ediție cuprinde în Anexă fragmente dintr-o Autobiografie *a lui Max von Laue și postfața lui V. I. Kuznețov la ediția sovietică, unde sînt puse în lumină unele chestiuni filozofice.*

EDITURA

PREFAȚĂ

Am scris această istorie a fizicii la cererea profesorului *Rothacker*, ca parte dintr-o istorie a științelor; ca atare, volumul era, de la bun început, restrîns la un cadru anumit. Expuneri amănunțite există destule, cum ar fi cea a lui *E. Hoppe*, în *Handbuch der Physik* (1926) și lucrarea lui *F. Rosenberger* (1882—1890), în trei volume. În schimb, cartea de față, mai mică, se apropie mai mult de prezent, punînd accentul îndeosebi pe ultima sută de ani.

La hotărîrea de a elabora o lucrare atît de neobișnuită pentru mine a contribuit, în mare măsură, îndemnul repetat al credinciosului meu prieten, dr. Arnold *Berliner*, fondatorul revistei „Die Naturwissenschaften" și mulți ani de-a rîndul redactorul ei, de a trata istoria fizicii dintr-un punct de vedere modern. Aceste indicații le-am avut mereu în fața ochilor în tot timpul elaborării prezentei lucrări. În 1942, Berliner s-a sinucis ca să scape de persecuțiile rasiale. Închin această carte modestă memoriei sale.

Göttingen, martie 1947.

La ediția a 3-a

Prelegerile mele universitare asupra istoriei fizicii au condus la o seamă de completări referitoare, în majoritatea lor, la părțile mai vechi ale fizicii. Au fost făcute și alte modificări, mai mici. Planul de ansamblu a rămas neschimbat.

Göttingen, ianuarie 1950.

M. v. LAUE

INTRODUCERE

Istoria se poate scrie, respectînd în totul adevărul, din puncte de vedere foarte diferite ; orice punct de vedere din care istoriograful reuşeşte să scoată ceva interesant sub aspect istoric este îndreptăţit. Şi istoria unei ştiinţe admite puncte de vedere diferite. Punctul nostru de vedere îmbrăţişează apariţia şi transformările unor idei şi cunoştinţe importante pentru fizica actuală. După cum istoria politică se opreşte în faţa politicii curente, tot astfel istoria unei ştiinţe nu ne conduce pînă la probleme care încă nu pot fi considerate astăzi ca rezolvate.

Dar nu vom merge prea departe nici în trecut. Desigur, în anumite probleme particulare ale fizicii, au existat cunoştinţe vrednice de luat în seamă încă la sumerieni, babilonieni şi egipteni, cunoştinţe care lasă însă toate impresia a ceva întîmplător, nesistematic, negîndit pînă la capăt. Dintre domeniile ştiinţifice despre care va fi vorba aici, antichitatea greco-romană a creat, propriu-zis, numai statica, un capitol al mecanicii. Din anumite exprimări păstrate de la *Platon* (427-347 î.e.n.) rezultă o totală desconsiderare pentru orice cercetare empirică, legată de o vehementă dezaprobare a oricăror tendinţe de a coborî înălţătoarea ştiinţă a matematicii din imperiul ideii pure şi de a o „profana", aplicînd-o la obiecte ale experienţei. Probabil că aceasta este cauza pentru care *Aristotel* (384—322 î.e.n.) nu ne oferă, în sistemul

său altminteri grandios al științelor, decît unele noțiuni extrase din superficiale constatări de fapt, destul de necritice, și analiza lor logică sau, adeseori, doar sofistică. Astfel, pînă și apariția unui geniu de talia lui *Arhimede* (287—212 î.e.n.) nu a exercitat o influență mai importantă. Nu știm nimic despre vreo cercetare sistematică a naturii, nici în antichitate, nici în evul mediu.

Ca prim semn care vestește noul spirit în cercetare, trebuie să socotim marile descoperiri geografice de la sfîrșitul secolului al XV-lea, în primul rînd descoperirea Americii (în 1492) de către Cristofor *Columb* (1446—1506), eroul care nu numai că știa de forma sferică a Pămîntului, măsurată încă de *Eratostene* (275—194 î.e.n.), ci a și fost, totodată, primul care a crezut în ea cu atîta tărie, încît, întemeindu-se pe această idee, a inițiat o acțiune apreciată drept temerară de către mulți dintre contemporanii săi. Dar și în secolul al XVI-lea, care prin traduceri și comentarii își însușise cu un remarcabil succes știința antică, realizarea lui *Copernic* (1473—1543) depășea cu mult această știință și numai foarte puțini i-au dat atenție, acceptînd-o sau respingînd-o. Abia de la începutul secolului al XVII-lea, cercul celor care se interesează de științele naturii se lărgește într-atîta, încît se poate vorbi despre o cercetare în continuu progres. Și ea a fost puternic înviorată prin tendința devenită atunci unanimă, de a nu mai întemeia știința pe metode speculative și pe tradiție, ci pe observație și, mai mult, pe experimente concepute și efectuate după un plan determinat. Această concepție cu totul nouă a fost prezentată atunci și mai este încă și astăzi, de cele mai multe ori, ca o ruptură netă cu trecutul. Așa să fi fost oare? Dacă recunoaștem în cultura antică

etosul subordonării individului față de legea lucrurilor, subordonare pe care au propovăduit-o dramaturgii eleni și pe care matematicienii au înfăptuit-o în știința lor, atunci noua concepție din științele naturii nu este decît o extindere consecvent logică asupra unui domeniu în care cei vechi abia izbutiseră să facă un prim pas. Două mijloace de observație fundamentale — microscopul și luneta — apar deodată, pe la 1600, fără să se știe propriu-zis cine le-a inventat. *Galilei* care, spre deosebire de *Copernic,* nu scria numai pentru savanți („matematicieni", cum zicea el), ci pentru toată lumea, a găsit numeroși discipoli și emuli. Abia în perioada aceasta a pătruns în conștiința tuturor sistemul copernican, și astfel faimoasa dispută pentru recunoașterea lui și-a atins punctul culminant. În momentul cînd Giordano *Bruno* era condamnat să fie ars pe rug (1600), această dispută a jucat un anumit rol, cel puțin în culise ; căci doctrina infinității spațiului și a pluralității lumilor, pe care sentința o enumera printre ereziile sale, era o extindere consecventă a sistemului copernican. Dar nici această execuție, nici excomunicarea pronunțată de Inchiziție, în 1633, împotriva lui *Galilei* și împotriva copernicanilor, în genere, nu au avut eficiență durabilă ; în cele din urmă, la începutul secolului al XIX-lea, excomunicarea a fost anulată, cu respectarea tuturor formelor.

În secolele al XVIII-lea și al XIX-lea, autoritățile politice și bisericești nu au mai încercat asemenea imixtiuni în fizică ; ghilotinarea lui *Lavoisier,* în 1794, nu a avut nimic de-a face cu știința. Această imixtiune i-a rămas rezervată abia epocii lui Hitler, în al cărui domeniu de influență a fost proscrisă îndeosebi teoria relativității a lui Einstein. Referindu-se la asemenea întîmplări, autorul a repetat, în cadrul unei cu-

vîntări ţinute la Congresul de fizică din toamna anului 1933, expresia pe care legenda i-o atribuie lui Galilei : „Şi totuşi se mişcă". În fond, fizica a putut să se dezvolte în linişte, după propriile ei legi [1]. Ea nu a devenit, din această cauză, străină de viaţă ; dimpotrivă, direct, prin aplicaţiile ei tehnice şi, mai discret, dar tot atît de puternic, prin ideile ei, ea a exercitat o influenţă atît de mare asupra întregii sfere de viaţă a individului şi a popoarelor, încît nici istoria politică nu poate fi înţeleasă fără luarea în considerare a acestei influenţe. Unul dintre scopurile expunerii noastre este de a dovedi cît de adînc a pătruns gîndirea fizicienilor din ultimele trei secole sau trei secole şi jumătate în cultura spirituală a omului de astăzi.

Fizica a păstrat întotdeauna un strîns contact cu ştiinţele înrudite : astronomia, chimia, mineralogia. Hotarele care o despart de ele sînt marcate doar de deosebiri destul de exterioare, în primul rînd de natura aparatelor, din care cauză aceste hotare au şi fost adeseori depăşite. În secolul al XVIII-lea, dar şi mai tîrziu, fizicianul şi astronomul, fizicianul şi chimistul se întîlnesc adeseori întruchipaţi în aceeaşi persoană. Galileo *Galilei* şi Christian *Huygens* (1629—1695) şi-au făcut un nume atît în fizică, cît şi în astronomie. Robert *Boyle* (1627—1691) şi Edme *Mariotte* (1620—1684), pe care vom avea ocazia să-i menţionăm mai tîrziu, erau în primul rînd chimişti, ca şi Henry *Cavendish* (1731—1810), Antoine-Laurent *Lavoisier* (1743—1794) şi Humphrey *Davy* (1778—

[1] Este de la sine înţeles că soarta purtătorilor ei a fost împletită cu evenimentele politice ale timpului, dar aceasta nu ne interesează aici.

1829). Fizica și chimia au contribuit, în egală măsură, la crearea noțiunii de atom. La sfîrșitul secolului al XIX-lea, în urma cercetărilor lui Svante *Arrhenius* (1859—1927), Jacobus Hendrikus *van't Hoff* (1852—1911), Wilhelm *Ostwald* (1853—1932), Walter *Nernst* (1864—1941), chimia fizică se separă ca știință independentă. În secolul al XX-lea, după o lungă întrerupere, fizicienii reîncep să se ocupe de teoria cristalelor, pe care o lăsaseră pe seama mineralogilor.

Astronomia a fost ridicată pe o nouă treaptă în 1610, cînd *Galilei* i-a pus la dispoziție luneta, adică un instrument de fizică. În secolele al XIX-lea și al XX-lea, fizica i-a dat un ajutor substanțial, prin introducerea aparatelor spectrale, precum și a bolometrelor și a celulelor fotoelectrice, pentru măsurarea intensității luminii stelelor. Pentru a aminti o ramură foarte nouă, *radioastronomia,* aceasta a fost inițiată în 1932—1933, la New York, de către K. G. *Jansky* (1905—1950), în urma observației că din spațiul cosmic ajung pe Pămînt unde hertziene, avînd lungimile cuprinse între 1 cm și 1 500 cm ; după cum s-a stabilit imediat după aceea, sursele lor se găsesc parte în Soare, parte în obiecte considerabil mai depărtate. Reprezentările astrofizicii despre interiorul stelelor fixe, despre evoluția lor, despre distribuția și natura materiei interstelare se bazează toate pe fizica modernă, îndeosebi pe teoria cuantică a atomului. Invers, astronomia i-a făcut fizicii servicii de care avea neapărată nevoie, de exemplu în teoria gravitației, prin cea dintîi măsurare a vitezei luminii (vezi cap. 4), prin confirmarea principiului lui Doppler și, foarte recent, prin verificarea teoriei relativității generalizate în privința deflecției luminii de către Soare și a deplasării spre roșu a liniilor spectrale la stelele mari, precum și

prin stabilirea certă, cu mult anterioară acestei teorii, a mişcării periheliului lui Mercur (cap. 6).

Mai strînsă este însă conexiunea dintre fizică şi matematică. Matematica este unealta intelectuală a fizicianului : numai ea permite enunţarea într-o formă definitivă, precisă şi didactică a legilor materiale descoperite de ştiinţă, precum şi aplicarea lor la procese mai complicate. De exemplu, logaritmii, inventaţi curînd după anul 1600 de Jost *Bürgi* (1552—1617) şi, independent de el, de John *Neper* (1550—1617) şi de Henry *Briggs* (1556—1630), şi-au găsit una dintre cele dintîi aplicaţii în calculele astronomice ale lui *Kepler*. Tot astfel, progresul ulterior al fizicii, mai ales în mecanică, s-a împletit în modul cel mai strîns cu progresele concomitente ale matematicii (cap. 2). De multe ori, unele probleme puse de fizică au declanşat direct progrese ale matematicii.

O notă aparte prezintă relaţia dintre fizică şi filozofie. La începutul perioadei analizate aici, s-au ocupat de fizică şi oameni pe care îi cunoaştem în primul rînd ca filozofi, cum ar fi *Descartes* — care respinge, din principiu, metoda de cercetare galileiană — sau *Leibniz*. Dar şi *Kant* s-a manifestat ca cercetător al naturii ; dintre realizările pe care i le datorăm în domeniul fizicii, ideile sale cosmologice despre formarea sistemului nostru planetar sînt cele mai cunoscute şi mai bogate în consecinţe. Ulterior, se observă mai degrabă o situaţie inversă : fizicieni şi chimişti vin cu publicaţii de filozofie, ca, de exemplu, *Helmholtz*, *Mach*, *Poincaré*. În majoritatea cazurilor este vorba despre probleme ale teoriei cunoaşterii, disciplina filozofică cea mai apropiată de preocupările lor. Să-mi fie iertat dacă mă îndoiesc că au avut cu toţii pregătirea filozofică necesară pentru succesul unei astfel de

activităţi. În schimb, este în afară de orice dubiu că progresele din domeniul ştiinţelor naturii au dat un impuls important tuturor filozofilor de seamă. Exemplul cel mai evident îl arată influenţa exercitată de *Newton* asupra lui *Kant.* În secolul al XIX-lea se manifestă o opoziţie cît se poate de îndreptăţită a cercetătorilor naturii faţă de „filozofia identităţii" a lui Hegel, care tăgăduia dreptul la viaţă al oricărei ştiinţe experimentale, opoziţie care, din păcate, a fost transferată adeseori asupra întregii filozofii şi chiar asupra oricărei teorii în ştiinţa naturii. În această privinţă, J. R. v. *Mayer,* bunăoară, promotorul principiului energiei, a avut şi el mult de suferit, ca urmare a tendinţei speculative din lucrările pe care le-a publicat. Şi chiar împotriva celebrei scrisori a lui *Helmholtz, Despre conservarea forţei* (Über die Erhaltung der Kraft), s-au ridicat, la început, obiecţii de acest fel.

Cît se poate de clară este legătura dintre fizică şi tehnică. Aceasta este, în cea mai mare parte, fizică aplicată, şi progresele ei au urmat îndeaproape, de cele mai multe ori, realizările fizicii. Dar tehnica a dezvoltat şi idei proprii, importante pentru fizică, de exemplu, în cazul maşinii cu vapori (James *Watt,* 1770) şi al stabilirii principiului dinamoelectric pentru dinam (Werner v. *Siemens,* 1867). În primul rînd, tehnica a lărgit într-o măsură mereu mai mare posibilităţile experimentale ale fizicii. Crearea unui institut de fizică modern ar fi cu totul imposibilă fără ajutorul multilateral al tehnicii.

În orice istorie a ştiinţei, problemele de prioritate constituie un capitol delicat. Chiar în zilele noastre, cînd fiecare progres, cît de cît important, apare într-o revistă şi cînd documentarea ştiinţifică este bine or-

ganizată, experienţa ne arată că astfel de probleme sînt uneori greu de soluţionat. Cu atît mai mult în vremurile în care răspîndirea rezultatelor cercetării dispunea numai de două căi: scrisori şi cărţi! În adevăr, reviste ştiinţifice există abia de pe la mijlocul secolului al XVII-lea. În 1664, Societatea regală din Londra, întemeiată în 1662, începe să-şi publice periodicul „Transactions"; exemplul ei este urmat, la diverse intervale, de alte societăţi ştiinţifice şi de academiile înfiinţate în număr mare pe la 1 700. Aşa s-a ajuns, treptat, la o anumită sistemă în publicaţii. Nu ne vom da prea multă osteneală în problema priorităţilor. Din punctul nostru de vedere, bunăoară, faptul că legea gazelor, care poartă numele lui Robert *Boyle* şi Edme *Mariotte*, a fost desluşită în realitate de Richard *Townley*, un elev altfel necunoscut al lui *Boyle*, din măsurători ale acestuia, este mai puţin important decît că această lege a devenit cunoscută pe la 1662. Desigur, nu pentru toată lumea: în 1679, *Mariotte* a trebuit să o descopere din nou, independent de *Boyle*.

Totodată, se poate stabili pentru orice epocă: de îndată ce un cercetător a publicat o nouă descoperire importantă, răsună, mai curînd sau mai tîrziu, voci care o revendică pentru ele sau pentru alţii, susţinînd că „de fapt" o obţinuseră înainte. Uneori aceste reclamaţii sînt şi întrucîtva justificate. Există cazuri în care o anumită descoperire „pluteşte în aer" şi este efectiv făcută independent de mai mulţi deodată, pentru că dezvoltarea ştiinţei o impune (vezi *Boyle* şi *Mariotte*). După *Rutherford*[1] sînt chiar mult mai

[1] Lord Rutherford, *Background of Modern Science*, Cambridge, 1938, p. 55.

rare cazurile în care o descoperire din domeniul științelor naturii se produce fără pregătirea spirituală corespunzătoare a lumii savanților. Totuși, este recomandabil să rămînem sceptici față de asemenea revendicări. De foarte multe ori, unei intenții obscure sau interpretări forțate i se suprapune claritatea pe care a obținut-o ulterior un altul. Cîteodată, cineva a făcut o observație sau a avut o idee, a cărei semnificație și a cărei importanță au fost înțelese abia mai tîrziu, de către altcineva. O descoperire trebuie datată abia din momentul în care a fost exprimată cu suficientă claritate și precizie pentru a putea influența progresul ulterior. Și o dată ce a fost comunicată efectiv într-o astfel de formă, nu este cazul să criticăm apoi cu părtinire scrierea respectivă, pretinzîndu-i ca orice punct secundar să fie bine precizat. Niciodată omul nu atinge dintr-o dată perfecțiunea.

Pe de altă parte, se întîmplă ca o descoperire care, la timpul ei, a însemnat un progres remarcabil să apară banală pentru posteritate, deoarece, în urma unor cunoștințe obținute ulterior, a devenit foarte ușor de înțeles. O prețuire obiectivă va trebui să aibă în vedere, într-un astfel de caz, timpul scurs de la apariția problemei respective pînă la rezolvarea ei prin noua descoperire și, în primul rînd, să țină seama că, pînă a deveni banală, orice cunoștință trebuie în prealabil să fie enunțată.

După cum istoria popoarelor și a statelor menționează numai evenimentele mai importante și pe oamenii care au avut oarecare însemnătate în desfășurarea lor, tot astfel istoria unei științe poate să se oprească numai la unele momente culminante ale cercetării și să amintească numai pe cei care au participat la ele. Rămîn

astfel în umbră mii de oameni care, începînd cu secolul al XVII-lea, i s-au consacrat, de cele mai multe ori, din pură pasiune, căzîndu-i cîteodată chiar jertfă. Munca lor însă nu a fost cîtuşi de puţin zadarnică sau inutilă. Numai datorită colaborării modeste a celor mulţi s-a putut realiza imensitatea de observaţii şi de calcule necesare şi asigura continuitatea progresului ; numai multiplicitatea de interese şi de talente a împiedicat ca cercetarea să se limiteze exclusiv doar la cîteva direcţii ; opera lor a constituit şi constituie premisa indispensabilă pentru posibilitatea unor realizări proeminente sau chiar geniale. Fizica este, cel puţin de la sfîrşitul secolului al XVII-lea, o creaţie colectivă. Şi aceasta constituie, de asemenea, un fapt istoric.

Adeseori se vorbeşte despre problema obiectivităţii, a adevărului cunoaşterii în ştiinţele naturii. Aceasta este de multe ori pusă la îndoială ; au existat şi mai există tendinţe gnoseologice care, plecînd de la factorul uman întîmplător ce intervine la formarea oricărei cunoştinţe, de la frecventele schimbări ale concepţiilor şi ale teoriilor fizicii, trag concluzia că totul ar depinde de diverşi factori spirituali sau chiar biologici ai mediului şi că deci totul ar avea doar o valabilitate temporară, convenţională. În realitate, fizica nu a avut niciodată o formă gata constituită, încheiată pentru toate timpurile, şi nici nu poate să o aibă, deoarece caracterul finit al conţinutului ei stă întotdeauna faţă în faţă cu infinitatea de percepţii posibile. Şi totuşi există o dovadă a adevărului ei obiectiv, o dovadă de covîrşitoare putere de convingere : în istoria ei se întîmplă foarte frecvent ca sfere de reprezentări fizice total independente pînă la un anumit punct, cercetate de grupuri distincte de oameni,

de exemplu optica şi termodinamica (cap. 13), sau teoria ondulatorie a razelor Röntgen şi teoria atomică a cristalelor (cap. 12), să se întîlnească pe neaşteptate şi să se contopească *într-un mod firesc.* Cine a avut prilejul, chiar de departe, să fie martor al unui astfel de eveniment atît de surprinzător, sau cel puţin cine este în stare să şi-l reconstituie, nu se mai îndoieşte că teoriile ce se contopesc conţin, dacă nu adevărul deplin, cel puţin un sîmbure important de adevăr obiectiv, neafectat de adăugirile oamenilor. Altminteri, potrivirea dintre aceste teorii ar putea fi înţeleasă doar ca un miracol. Prezentarea cît mai clară a unor astfel de evenimente trebuie să constituie idealul unei istorii a fizicii.

1

MĂSURAREA TIMPULUI

Pentru orice ştiinţă care se ocupă de procese desfăşurate în spaţiu şi în timp, măsurarea timpului constituie una dintre problemele cele mai importante. Să vedem cum stau lucrurile aici.

Kant are în orice caz dreptate cînd prezintă timpul ca pe o formă a intuiţiei, inerentă raţiunii umane. Această intuiţie este continuă. Un continuu însă nu-şi poartă niciodată măsura în sine ; prin urmare, pentru a măsura timpul, trebuie să-i stabilim un sistem de măsură [1]. Am putea, de exemplu, să stabilim repere de timp în mod arbitrar, punînd pe cineva să bată cu mîna în masă şi numerotînd bătăile. Dacă menţionăm apoi, pe lîngă fiecare eveniment, numărul reperului de timp care coincide cu el, am stabilit astfel o succesiune temporală de evenimente printr-un şir de numere.

Desigur, o astfel de împărţire a timpului s-ar dovedi nesatisfăcătoare chiar pentru numeroase scopuri ale vieţii de toate zilele ; bunăoară, ea nu ar permite alcătuirea unui mers al trenurilor. În adevăr, acesta trebuie să se orienteze după mişcarea locomotivelor, care se supune anumitor legi ale naturii, pe cînd împărţirea

[1] Un lanţ îşi poartă măsura în sine, deoarece putem să-i numerotăm verigile. Pentru un fir uniform şi omogen peste tot, nu avem nimic asemănător ; dacă vrem să-l măsurăm, sîntem nevoiţi să-i punem alături un etalon şi să trecem pe fir diviziunile acestuia.

respectivă a timpului nu are nici o legătură cu aceste legi. Aşadar, scopul măsurării timpului trebuie să fie o corelare cu legile naturii, şi anume, pentru a satisface cerinţele ştiinţei, o corelare în condiţiile căreia legile naturii să poată fi formulate cît mai simplu.

Dacă ne gîndim bine, această idee a stat la baza celor mai vechi ceasornice : cel cu nisip şi cel cu apă (clepsidra). Se stabileşte prin definiţie că un proces determinat, ca scurgerea printr-un orificiu a unei anumite cantităţi de nisip sau apă, durează întotdeauna acelaşi interval de timp ; experienţa urmează să decidă în ce măsură această definiţie satisface scopul urmărit. Însă astfel de ceasornice se opresc după ce nisipul sau apa s-au scurs în întregime ; este nevoie de o intervenţie pentru a le pune din nou în funcţiune, şi această intervenţie influenţează măsurarea timpului. Acelaşi lucru este valabil şi pentru ceasornicele cu greutăţi, foarte folosite în evul mediu şi la care căderea unei greutăţi, încetinită cu ajutorul unei frîne de aer, serveşte la măsurarea timpului. Aceasta este valabil, de asemenea, pentru pendulul simplu, dacă, după *Galilei*, îl punem să oscileze şi fixăm apoi perioada de oscilaţie ca măsură a timpului. În orice caz, a fost un progres bogat în consecinţe faptul că *Galilei* a sesizat independenţa perioadei oscilaţiilor de amplitudinea lor, ceea ce este valabil însă — contrar părerii sale — numai ca aproximaţie pentru oscilaţii mici.

Pasul hotărîtor care a dus la crearea ceasornicului, în înţelesul pe care i-l dăm astăzi, a fost făcut în 1657 de Christian *Huygens* (1629—1695), acelaşi care şi-a dat seama de natura inelului lui Saturn şi pe care îl vom mai întîlni de multe ori în cele ce urmează. El a

introdus *principiul reacției* [1]; denumirea aceasta o împrumutăm de la o invenție din 1906 a lui E. A. *Ruhmer* [2] pentru producerea oscilațiilor electrice.

Un ceas se compune, indiferent de execuție, din trei părți esențiale. Întîi un oscilator — construit de cele mai multe ori ca un pendul sau un balans — a cărui perioadă dă, propriu-zis, măsura timpului. Dar din cauza inevitabilelor rezistențe de frecare, oscilațiile s-ar stinge treptat, dacă nu li s-ar comunica mereu energie cinetică. De aceea, a doua parte componentă esențială este un izvor de energie, care înmagazinează energie, să zicem, ca energie elastică a unui resort sau ca energie potențială a unei greutăți ridicate; construcțiile mai noi pun uneori, în locul acestora, o baterie electrică. Al treilea element, și cel mai important, este aparatul care transmite această energie oscilatorului: trebuie s-o facă în așa fel, încît să nu-i altereze perioada și, în plus, oscilatorul trebuie să stabilească singur momentele de timp ale aportului de energie. Aceasta este esența reacției, care apare pentru prima dată la ceasornicele lui Huygens, atît la cele cu pendul, cît și la cele cu balans. E drept că, la toate construcțiile, izvorul de energie trebuie, din cînd în cînd, „întors". Însă această intervenție nu tulbură, în principiu, mersul ceasornicului. Putem deci spune că, în fond, un astfel de ceas măsoară timpul în mod continuu.

Firește, tehnica a contribuit foarte mult la îmbunătățirea ceasornicelor. Condițiile de precizie, pe care le satisface astăzi orice ceas utilizabil, erau inaccesibile pe

[1] *Huygens* a căpătat de la Statele Generale un brevet pentru pendulă la 16.6.1657; scrierea sa *Horologium* a apărut în 1658.
[2] Invenția lui E. *Ruhmer* se referea la emițătorul cu arc electric. Pentru montajele cu tuburi, astăzi mult mai importante, reacția a fost introdusă, în 1913, de către *de Forest* și, aproape concomitent, de către A. *Meissner*.

vremea lui Huygens. Singurul progres mai important a fost realizat însă abia în 1929, prin ceasornicul cu cuarţ, inventat de V. A. *Marrison* şi îmbunătăţit de A. *Scheibe* şi U. *Adelsberg*. La acest ceasornic, oscilatorul este o lamă de cuarţ, care execută aproximativ 100 000 de oscilaţii pe secundă şi care, datorită proprietăţilor piezoelectrice ale cuarţului, realizează reacţia pe cale electrică, cu ajutorul unei baterii. Mersul acestui ceasornic este constant în cazul optim, cu precizie de $^1/_{1\,000}$ secunde pe zi.

Pentru a adapta măsurarea timpului la nevoile vieţii civile, ceasornicele se etalonează, pînă în prezent, după rotaţia Pămîntului în raport cu stelele fixe. Între două treceri la meridian ale aceleiaşi stele, avem o zi siderală ; iar ziua solară mijlocie, pe care o împărţim în 24 de ore de cîte 60 de minute, avînd fiecare cîte 60 de secunde, este cu $^1/_{365}$ mai lungă decît aceasta. Ziua solară adevărată, măsurată între două treceri la meridian ale Soarelui, variază ca durată în cursul anului, din care cauză toate ceasornicele solare prezintă abateri pînă la un sfert de oră faţă de ceasornicele mecanice cu funcţionare bună. Fizica, bazată pe această măsurare a timpului, explică abaterile menţionate prin devierea orbitei Pămîntului de la forma circulară şi prin înclinarea planul eclipticii [1]. O fizică în care ziua solară adevărată ar fi adoptată drept bază pentru măsurarea timpului s-ar vedea pusă în faţa întrebării penibile, de ce toate ceasornicele artificiale prezintă în mersul lor oscilaţii anuale concordante.

Firește, este doar o ipoteză că perioada de rotaţie a Pămîntului este adecvată pentru etalonarea ceasornicelor, cu alte cuvinte că viteza de rotaţie a Pămîntului

[1] Adică axa Pămîntului nu este perpendiculară pe planul eclipticii, ci înclinată cu un unghi de 23° faţă de normală.

este constantă într-o măsurare a timpului, stabilită prin alte ceasornice bune. Există două metode pentru a verifica această ipoteză. Timpul indicat în mod concordant de ceasornice cu cuarț bune pune în evidență oscilații ale perioadei de rotație, de ordinul miimilor de secundă. Însă compararea cu mișcările Lunii și planetelor interioare ne arată cu mult mai multă certitudine că, în ultimele două secole, timpul citit după rotația Pămîntului prezintă față de timpul necesar pentru a înțelege din punct de vedere fizic aceste mișcări, cînd un avans de 30 de secunde, cînd o întîrziere de aceeași mărime. În conformitate cu scopul menționat mai sus, pentru măsurarea timpului va trebui să alegem ca fiind corect timpul stabilit de „ceasornicul planetar" [1].

În toate aceste considerații am făcut abstracție de faptul că locul unde se află orice ceasornic se mișcă împreună cu Pămîntul în jurul Soarelui și participă la rotația Pămîntului. Teoria relativității ne arată că aceasta impune, în principiu, o corecție, dar ne permite totodată să calculăm că, în condițiile actuale precizii a măsurătorilor, corecția mai poate fi încă neglijată.

[1] B. Meyermann, *Die Schwankungen unseres Zeitmasses*, în „Ergebn. d. exakten Naturwissenschaften", 7, 92, 1928.

2

MECANICA

La început a fost mecanica. După cum am mai amintit, teoria echilibrului — statica — își are rădăcinile încă în antichitatea îndepărtată. Importanța practică pe care pîrghia, șurubul, scripetele, planul înclinat o prezintă pentru înfăptuirea muncilor fizice grele a fost cea care le-a trezit la viață. Noțiuni ca greutate specifică sau centru de greutate au fost dezvoltate de greci; calculul centrului de greutate al unor corpuri de formă dată constituia o problemă care, din cauza lipsei calculului infinitezimal, cerea perspicacitate. Această statică a culminat în principiul deplasărilor virtuale: să se calculeze, pentru fiecare forță, produsul ei cu drumul pe care l-ar efectua punctul ei de aplicație, dacă ar avea loc o anumită mișcare în direcția forței. Această mișcare nu are loc atunci cînd suma produselor (care trebuie luate cu semnul potrivit) este nulă. Forțele sînt măsurate aici prin greutăți; este vorba deci, întotdeauna, de acțiuni ale gravitației. Cunoscuta lege a pîrghiei este un caz particular, iar principiul lui Arhimede — un corp solid cufundat într-un lichid este acționat de o forță îndreptată de jos în sus și egală cu greutatea lichidului dezlocuit — este un caz particular. Aceste cunoștințe au fost rodul mileniilor dinainte de anul 1600. Ultimul din șirul creatorilor lor este Simon *Stevin* (1548—1620), care a cercetat, cu o genială intuiție, echilibrul pe planul înclinat și a descoperit astfel, implicit, descompunerea unei forțe în componente, adică

legea paralelogramului. Ceea ce se găseşte în materie de mecanică la *Aristotel* şi a contat, de-a lungul întregii scolastici, drept un adevăr incontestabil a fost cel mai mare obstacol pe care a trebuit să-l înfrîngă ştiinţa născîndă a secolului al XVI-lea.

Întemeierea teoriei propriu-zise a mişcării — dinamica — i se datoreşte lui Galileo *Galilei* (1564—1642), iar dezvoltarea ei, lui Christian *Huygens*; Isaac *Newton* (1643—1727) a adus-o pînă la un anumit grad de perfecţiune, din care cauză, în onoarea lui, o numim dinamică newtoniană. Experimentele lui Galilei asupra căderii corpurilor au început imediat după 1589, principala sa scriere de mecanică, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica e ai movimenti locali* [1], a apărut în 1638, iar cartea lui Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica* [2], a văzut lumina tiparului în 1687. Perioada în care a fost creată dinamica a durat, aşadar, un secol.

Rezultatul acestei măreţe realizări a spiritului omenesc este cuprins în două principii: produsul dintre masa unui punct material şi acceleraţia lui este egal cu forţa care acţionează asupra lui (acceleraţia şi forţa sînt mărimi orientate, vectori, şi principiul cere, între altele, ca amîndouă să aibă acelaşi sens). La aceasta se adaugă principiul acţiunii şi al reacţiunii: forţele exercitate între două mase sînt egale ca mărime şi de sens contrar.

Să analizăm aceste enunţuri. Ce este acceleraţia a devenit limpede, în fond, încă pentru *Galilei*, atunci cînd a cercetat, cu mijloace matematice primitive, noţiunea

[1] Discursuri şi demonstraţii matematice privitoare la două ştiinţe noi care aparţin mecanicii şi deplasării.

[2] Principii matematice ale filozofiei naturale; traducerea în l. romînă a apărut în Editura Academiei Republicii Populare Romîne, 1956.

de viteză variabilă. *Newton,* care dispunea de calculul infinitezimal, creat de el şi de Gottfried Wilhelm *Leibniz* (1646—1716), a putut să-şi uşureze această muncă. Acceleraţia este variaţia vitezei raportată la unitatea de timp, derivata vitezei în raport cu timpul şi, deci, derivata a doua în raport cu timpul a razei vectoare duse dintr-un punct iniţial oarecare pînă la punctul material. De îndată ce sîntem lămuriţi asupra măsurării locului şi a timpului, explicaţia noţiunilor de viteză şi de acceleraţie reiese de la sine. Primul principiu dă, aşadar, o ecuaţie diferenţială de ordinul doi pentru locul unde se află punctul în funcţie de timp ; din integrarea ei obţinem traiectoria şi viteza cu care este parcursă. Dacă nu acţionează nici o forţă, acceleraţia este nulă, mişcarea se produce rectiliniu şi cu viteză constantă, aşa cum prevede principiul inerţiei.

Ce este masa, masa „inertă", rezultă din principiul al doilea. Dacă două mase îşi comunică reciproc acceleraţii, mărimile acestora sînt în raport invers cu masele ; dacă mişcarea începe din starea de repaus, acelaşi lucru este valabil pentru vitezele căpătate la intervale de timp egale şi pentru spaţiile parcurse în intervale de timp egale. Aşadar, măsurarea geometrică a traiectoriilor ne permite să reducem orice masă la o unitate de masă aleasă arbitrar. Deoarece acceleraţiile sînt de sens contrar, suma produselor dintre masă şi viteză rămîne neschimbată, deci egală cu zero, dacă ambele mase se aflau iniţial în repaus. Dacă definim acest produs ca impuls, putem traduce principiile de mai sus în forma pe care o preferăm astăzi : 1. Forţa este egală cu variaţia impulsului raportată la unitatea de timp [1]. 2. Într-un sistem de două sau mai multe mase, neinfluenţat din exterior,

[1] Această formulare a fost folosită încă de Newton.

impulsul total rămîne constant. (Principiul conservării impulsului.)

Enunţurile de mai sus cuprind implicit afirmaţia că forţele pe care două corpuri le exercită unul asupra altuia nu sînt perturbate de un al treilea corp şi că masa este o proprietate constantă a corpurilor. Această constanţă a fost totdeauna postulată în mecanică, deoarece cîntărirea nu a permis niciodată să se stabilească variaţii ale masei. Una dintre cele mai importante cunoştinţe dobîndite de chimie, care se constituie ca ştiinţă în secolul al XVIII-lea este că, şi în reacţiile chimice, masa totală a substanţelor care participă la reacţie rămîne constantă ; Antoine-Laurent *Lavoisier* este cel care şi-a cîştigat merite în acest domeniu. Mai tîrziu, în 1895—1906, Hans *Landolt* (1831—1910) a confirmat-o prin cîntăriri extrem de precise. Astăzi însă considerăm constanţa masei doar o aproximaţie, pe deplin suficientă pentru mecanică, pentru chimie şi pentru multe alte domenii ale fizicii.

În experimentele pe care se întemeiază aceste cunoştinţe, forţele erau măsurate prin greutăţi, după procedeul verificat din vechime şi păstrat pînă astăzi ; dacă ele nu acţionau vertical în jos, firele de care erau suspendate se trăgeau peste role. Astfel, noţiunea de forţă era efectiv bine fundată experimental şi, după cum se credea, în jurul ei nu mai era nici un mister. Dar secolele al XVII-lea şi al XVIII-lea nu au fost nicidecum atît de consecvente. Însuşi faptul că semnificaţia noţiunii de forţă nu era pe deplin stabilită a provocat numeroase confuzii. Dat fiind că orice aplicare conştientă a unei forţe de către om este precedată de un act voliţional, se căuta, dincolo de noţiunea fizică a forţei, ceva mai profund, metafizic, o tendinţă inerentă corpurilor, de exemplu, în cazul gravitaţiei, tendinţa lor de a se uni cu

ceea ce este de aceeaşi natură cu ele. Pentru noi, astăzi, acest punct de vedere este greu de înţeles. Cît de general acceptat era el pe atunci, chiar de capete luminate, se vede din celebra dispută despre „măsura naturală a forţei", desfăşurată între cartesieni, de o parte, şi Leibniz şi adepţii săi, de cealaltă parte. Unii voiau să adopte în acest scop impulsul produs de o forţă într-un timp anumit, pe cînd ceilalţi preferau ceea ce se numeşte astăzi energie cinetică şi se chema înainte adesea forţă vie. *Newton* nu a fost în stare să ia aici o atitudine clară. Deşi *d'Alembert* (1717—1783) a calificat drept dispută verbală nesfîrşita controversă care s-a dezlănţuit în această chestiune, noţiunea de forţă şi-a mai păstrat pentru mulţi o nuanţă mistică, pînă în 1874, cînd Gustav Robert *Kirchhoff* (1824—1887) a rostit în prima frază a *Prelegerilor de mecanică* (Vorlesungen über Mechanik) cuvîntul izbăvitor : „Mecanica este ştiinţa mişcării ; menirea ei este de a descrie complet şi în modul cel mai simplu mişcările ce se produc în natură ". Nu mai interesează deci deoît să cunoaştem vectorul — pe care îl numim forţă — în funcţie de locul punctului material sau de timp sau de amîndouă. Forţa poate să depindă şi de viteză, ca, de exemplu, în cazul frecării. Astfel, integrarea ecuaţiei de mişcare a lui Newton devine o problemă pur matematică, a cărei soluţie dă răspuns la orice întrebare justificată referitoare la mişcare. Fizica nu poate şi nu trebuie să ofere mai mult. Dacă cel ce citeşte cuvîntul „descriere" simte aici lipsa unei explicaţii cauzale, îi putem spune : explicaţia unui proces natural poate consta numai în a-l pune în relaţie cu alte procese, prin intermediul unor legi cunoscute ale naturii, adică în descrierea unui complex de procese interdependente, considerate ca un întreg. Această concepţie s-a impus astăzi unanim, şi nu numai în mecanică.

În intervalul de timp dintre Galilei și Newton mai avem și o altă linie de dezvoltare importantă. Evangelista *Torricelli* (1608—1647) a inventat barometrul cu mercur în 1644, pornind de la un experiment al lui Galilei cu pompa aspiratoare. Blaise *Pascal* (1623—1662) l-a îndemnat pe cumnatul său *Perier* să compare barometrul pe vîrful Puy de Dôme și la Clermont (diferența de altitudine este de circa 1 000 m). Otto v. *Guericke* (1602—1686) a construit mașina pneumatică și a explicat, cu ajutorul multor experimente impresionante, natura presiunii aerului [1]. Am arătat, încă în Introducere, că în 1662 a devenit cunoscută legea Boyle-Mariotte privitoare la relația dintre presiunea și volumul aerului. Pe atunci, cercetătorii nu dispuneau de alte gaze [2]; căci abia în 1766, Henry *Cavendish* a descoperit hidrogenul; în 1772, Daniel *Rutherford* (1749—1819) și, în același timp cu el, Henry *Cavendish*, azotul; în 1773, Carl Wilhelm *Scheele* (1742—1786) și, independent de el, Joseph *Priestley* (1733—1804), oxigenul, a cărui importanță în oxidare a fost stabilită de A. L. *Lavoisier*. Argonul a fost descoperit, în 1894, de lordul *Rayleigh* și de W. *Ramsay*, iar, în următorii cinci ani, celelalte gaze nobile în cea mai mare parte de către W. *Ramsay* împreună cu M. W. *Trawers*.

Pentru mecanica solidelor, un contemporan al lui Pascal, Robert *Hooke* (1635—1703), a descoperit, în

[1] „Emisferele de la Magdeburg" au fost demonstrate în 1656. Dar *Guericke* a scris abia în 1663 o dare de seamă cuprinzătoare asupra experimentelor sale, care a apărut în 1672, sub titlul *Noi experimente făcute la Magdeburg asupra spațiului fără aer* (Neue Magdeburgische Versuche über den leern Raum).

[2] Cuvîntul „gaz" apare pe la 1640, la medicul și chimistul olandez J. V. *van Helmont*; se pare că el are la bază cuvîntul „haos", folosit de *Paracelsus* (1493—1541), pentru „amestec de aer".

1676, pe baza unor exemple simple, proporționalitatea între deformație și solicitare. Astfel, pe la 1700, au fost desăvîrșite fundamentele fizice pe care s-a construit, în cei 150 de ani ce au urmat, edificiul măreț al mecanicii. Semnificativ pentru integritatea ei este că această dezvoltare s-a datorat precumpănitor unor matematicieni. În secolul al XVIII-lea predomină francezii. În adevăr, ideile lui *Newton* s-au răspîndit întîi în Franța și nu numai între oameni de specialitate : „iluminismul" le-a propagat în pături considerabil mai largi. *Voltaire* a fost, și el, unul dintre cei care au militat pentru aceste idei. Avem aici un exemplu tipic de influență a fizicii asupra dezvoltării generale a spiritului, deci și asupra dezvoltării politice.

Dintre acești matematicieni îi menționăm pe următorii : Daniel *Bernoulli* (1700—1782), Leonhard *Euler* (1707—1783), care au studiat sisteme de mai multe puncte materiale, s-au ocupat de corpul rigid și de hidrodinamică ; Jean Le Rond *d'Alembert*, autorul principiului care înlocuiește ecuațiile de mișcare și care-i poartă numele ; Joseph-Louis *Lagrange* (1736—1813), care a dat acestor ecuații diferențiale o formă deosebit de potrivită pentru cazuri mai complicate, și Pierre Simon de *Laplace* (1749—1827), a cărui *Mecanică cerească* (Mécanique céleste), în cinci volume, apărută pe la 1800, cuprinde mult mai mult decît promite titlul, și anume, între altele, o teorie a undelor în lichide și a capilarității. Prin aceasta, mecanica analitică își atinge apogeul. Mai trebuie amintiți Louis *Poinsot* (1777—1859), datorită căruia mecanica corpului rigid a căpătat formă definitivă, Gaspard-Gustave *Coriolis* (1792—1843), care a analizat, de exemplu, influența rotației Pămîntului asupra proceselor ce se desfășoară pe el, Augustin-Louis *Cauchy*

(1789—1859), care, în 1822, a dat formularea matematică cea mai generală importantelor noțiuni de tensiune elastică și de deformație și care, folosind legea lui Hooke, a dat mecanicii corpurilor deformabile forma ei definitivă ; William Rowan *Hamilton* (1805—1865), care a enunțat principiul minimei acțiuni, de care urmează să ne mai ocupăm, și Carl Gustav *Jacobi* (1804—1851), care a creat metoda ecuației diferențiale Hamilton-Jacobi pentru sisteme de mai multe corpuri. Cu cercetările lui Jean-Léon *Poiseuille* (1799—1869) despre vîscozitatea lichidelor și a gazelor (1846—1847) și cu lucrările despre mișcarea turbionară ale lui *Helmholtz* (1858), această epocă poate fi considerată în principiu încheiată, deși mai tîrziu, și pînă în zilele noastre, cercetători de seamă, ca lordul *Rayleigh* (1842—1919), Osborne *Reynolds* (1842—1912) și Ludwig *Prandtl* (1875—1953), au dezvoltat mai departe dinamica lichidelor și a gazelor, ținînd seama de frecare, îndeosebi pentru nevoile construcției de hidro- și aeronave. Aici contează deosebirea dintre o curgere ordonată, „laminară", și una dezordonată, „turbulentă". Dacă se mai recurge și acum la experiment în astfel de probleme, folosind uneori mijloace tehnice de o impresionantă amploare, aceasta se întîmplă numai pentru că matematica de astăzi nu este în stare să rezolve respectivele probleme sau pentru că rezolvarea lor cere eforturi disproporționat de mari. Nimeni nu se așteaptă aici la rezultate care să depășească principiile lui Newton.

Din bogăția evoluției postnewtoniene, menționăm aici numai două rezultate.

Încă din timpul lui Euler matematicienii au enunțat principii variaționale, care erau echivalente cu ecuațiile

de mişcare, ba chiar le conţineau. Pierre-Louis-Moreau de *Maupertuis* (1698—1759) a enunţat, în 1749, un astfel de principiu, într-o formă care-i poartă numele, şi şi-a apărat prioritatea cu un zel deosebit, de exemplu împotriva tuturor conjecturilor cum că *Leibniz* l-ar fi cunoscut; dar abia *Lagrange* a dat acestui principiu o formulare corectă. Cel mai important este principiul minimei acţiuni al lui Hamilton, pe care, în 1866, Hermann v. *Helmholtz* (1829—1894) l-a extins ca laitmotiv la o serie întreagă de procese nemecanice. Max *Planck* (1858—1947) a văzut în acest principiu cea mai cuprinzătoare dintre legile naturii. Este vorba în acest principiu despre o integrală în raport cu timpul, care se ia între două momente fixe ale timpului (în mecanică se integrează diferenţa dintre energia cinetică şi cea potenţială), şi se arată că această integrală este mai mică pentru mişcarea reală decît pentru orice altă mişcare imaginabilă, care ar porni din aceeaşi stare iniţială şi ar duce la aceeaşi stare finală. Cînd asemenea principii au apărut în secolul al XVIII-lea, ele au stîrnit senzaţie. Ecuaţiile diferenţiale ale mişcării determină un proces la un moment dat, din mişcarea imediat precedentă, în conformitate cu concepţia cauzală a naturii. În principiile de care ne ocupăm, dimpotrivă, întreaga mişcare este luată în considerare dintr-o dată pentru un interval de timp finit, ca şi cînd viitorul ar determina şi prezentul. Făcea impresia că un element teleologic ar fi pătruns aici în fizică, şi anumiţi exaltaţi îşi închipuiau chiar că ar izbuti să surprindă astfel cîte ceva din planurile cosmice ale creatorului, despre care credeau că pusese lucrurile la cale în aşa fel, încît mărimile figurînd în aceste principii să fie menţinute cît mai mici. Ideea leibniziană a „celei mai bune dintre lumile po-

sibile", care își găsește precursori încă printre vechii filozofi greci, nu era nici ea străină de aceste iluzii.

Firește, toate acestea aveau la bază o eroare matematică. E drept că mărimile respective prezintă întotdeauna pentru mișcarea reală un extrem, însă nu neapărat un minim. Pentru orice traiectorie închisă, să zicem o elipsă kepleriană, există, evident, două drumuri posibile sub raport mecanic între orice pereche de puncte ; numai pentru unul din ele avem un minim. Și apoi, s-a văzut curînd că se pot enunța principii variaționale și pentru alte ecuații diferențiale, nu numai pentru cele ale mecanicii. Datorită acestui fapt, principiul minimei acțiuni și toate principiile asemănătoare au fost reduse la rangul lor cuvenit, acela de mijloace matematice auxiliare foarte valoroase.

Al doilea punct, incomparabil mai important, ar fi aici principiul conservării energiei, a cărui istorie s-a desfășurat în cadrul mecanicii, înainte de a fi depășit limitele ei, devenind o lege universală. Amînăm discutarea lui pînă la capitolul 8.

W.R. *Hamilton,* care a jucat un rol important și în optica geometrică, a scos în evidență analogia matematică dintre această disciplină și mecanică. Astfel, raza de lumină și traiectoria unui punct material își corespund, așa încît trebuie să fie posibil de a reuni într-un „focar" traiectoriile tuturor punctelor materiale care ies cu aceeași viteză dintr-un același punct și, deci, de a confecționa mecanic imagini „optice". Bineînțeles, acest lucru a rămas irealizabil, pînă cînd fizica a descoperit electronii, particule la care acțiunea gravitației poate fi pusă cu totul în umbră de forțele electrice. Dar microscopul electronic de astăzi, cel puțin în forma sa electrostatică, este o realizare a ideii lui Hamilton.

Microscopul electronic magnetic se bazează pe principii întrucîtva diferite. Posibilitatea de a concentra, cu ajutorul unor cîmpuri magnetice cu simetrie rotaţională, electronii care vin dintr-un punct-obiect într-un punct-imagine a fost demonstrată de Hans *Busch*, în 1926.

După cum a demonstrat, în 1906, Max *Planck*, teoria relativităţii, întemeiată în 1905 de A. *Einstein* (1879—1955), nu schimbă prea mult în dinamica punctului material. (Lucrarea fundamentală a lui Einstein este greşită în această privinţă.) Este caracteristică intrarea în joc a unei constante universale, a cărei semnificaţie mecanică era necunoscută pînă atunci, anume viteza luminii în vid. Legea după care forţa este egală cu variaţia impulsului raportată la unitatea de timp rămîne valabilă, ca şi legea conservării impulsului pentru un sistem închis. De aici rezultă, ca şi înainte, principiul energiei, numai că se modifică relaţiile dintre impuls, energie şi viteză. Deşi această modificare devine sensibilă abia pentru viteze de ordinul celei a luminii, impulsul şi energia cresc infinit de mult o dată cu apropierea de această viteză, astfel că nici un corp nu poate să atingă vreodată viteza luminii. Ea este limita superioară inaccesibilă a tuturor vitezelor corpusculare. La dezintegrarea radioactivă se cunosc viteze ale electronilor, care reprezintă 99% din viteza luminii şi chiar mai mult, dar niciodată nu s-a stabilit experimental o viteză mai mare decît a luminii. În 1906—1910, numeroase măsurători ale devierii electronilor rapizi au demonstrat valabilitatea formulei relativiste a impulsului [Alfred Heinrich *Bucherer* (1863—1927), Charles Eugène *Guye* (1866—1942) şi Simon *Ratnowsky* (1884—1945) şi alţii]. Era vorba aici despre viteze

care atingeau cel mult jumătate din viteza luminii. Pentru viteze considerabil mai mari, aceeaşi dovadă a fost făcută, începînd din 1941, de marile acceleratoare de electroni şi ioni (ciclotronul, sincrotronul etc.), folosite pentru nevoile fizicii nucleare ; în adevăr, pentru calculul traiectoriei particulelor accelerate se foloseşte aici mecanica relativistă şi eficienţa acestor maşini depinde de corectitudinea calculelor.

Mai importantă din punct de vedere principial este modificarea noţiunii de masă, pe care ne-o impune această teorie. După cum a demonstrat *Einstein*, în 1905, orice creştere a energiei interne trebuie să mărească masa, şi anume cu o valoare care se obţine împărţind energia, măsurată în unităţi mecanice, cu pătratul vitezei luminii. Dată fiind mărimea vitezei luminii ($3 \cdot 10^{10}$ cm/s), aceste modificări sînt neglijabile pentru toate procesele pe care le numim mecanice, electrice, termice. Chiar la cele mai intense reacţii chimice, cu cele mai mari efecte termice, cîntărirea nu poate pune în evidenţă variaţia masei totale a corpurilor care participă la reacţie. În schimb, în fizica nucleară (cap. 10), această lege are o importanţă considerabilă.

Să vedem acum la ce foloseşte această mecanică. La foarte multe lucruri. Ea dă fundamentul pentru orice construcţie tehnică, în măsura în care aceasta este mecanică, intervenind astfel profund în viaţa de toate zilele ; îşi găseşte aplicaţii în ştiinţele biologice, de exemplu ca mecanică a mişcării corpului nostru sau a auzului. Ea cuprinde teoria deformaţiei corpurilor supuse unor solicitări elastice, teoria curenţilor în lichide şi în gaze, în plus vibraţiile şi undele elastice posibile în toate aceste corpuri, adică şi întreaga acustică, în măsura în care aceasta aparţine fizicii. Ea a condus,

pentru a pune în evidență un caz particular, la o teorie a oscilațiilor forțate, a cărei importanță depășește mult cadrul mecanicii și care este fundamentală, de exemplu, pentru înțelegerea oscilațiilor electrice. Ea descrie, în concordanță cu întreaga noastră experiență, procesele de mișcare, începînd cu ale stelelor fixe avînd mase de 10^{32}—10^{33} g și pînă la cele ale particulelor ultramicroscopice de 10^{-18} g; mai mult, s-a dovedit utilă și într-o parte din cunoștințele noastre referitoare la mișcările moleculelor, ale atomilor și ale particulelor elementare și mai mici (electronul etc.). De aceea, a constituit fundamentul pentru teoria cinetică a gazelor și pentru statistica fizică de tip Boltzmann-Gibbs. Și toate acestea se încadrează într-un edificiu de o maiestuoasă arhitectonică și de o covîrșitoare frumusețe. Nu trebuie să ne mire că, mult timp, mecanica a fost considerată ca fiind întreaga fizică și se credea că scopul acesteia din urmă ar fi de a reduce toate procesele la mecanică! Și chiar după ce s-a stabilit, pe la 1900, că acest lucru nu poate reuși pentru electrodinamică, mulți au făcut greșeala de a socoti că mecanica s-ar situa deasupra experienței, oarecum ca matematica. Cu atît mai profundă a fost emoția pricinuită de faptul că, începînd din 1900, teoria cuantelor a arătat treptat și din ce în ce mai clar limitele aplicabilității mecanicii. Dar chiar acolo unde teoria cuantelor înlătură mecanica, ea păstrează totuși neschimbate două dintre principiile ei: conservarea energiei și a impulsului.

Amintim în treacăt încă un progres care, deși mai mult exterior, a căpătat o mare importanță pentru întreaga fizică. La 2 iunie 1799, Adunarea legislativă de la Paris a adoptat kilogramul ca unitate de masă și

metrul ca unitate de lungime. Împreună cu secunda — unitate de timp mult mai veche — aceste unități formează punctul de plecare al sistemului CGS (centimetru-gram-secundă), la care fizica actuală reduce toate unitățile mecanice, electrice și magnetice.

O ramură a mecanicii care s-a dezvoltat însă cu totul independent, mai ales la început, este acustica. Se știa din timpuri străvechi că sunetele pure — spre deosebire de zgomote — se bazează pe vibrații periodice ale izvorului sonor. *Pitagora* (570—496 î.e.n.) mai știa, poate din surse egiptene, că mai multe coarde, acordate pentru intervale armonice de octavă, chintă etc., prezintă un raport al lungimilor de 1 : 2, 2 : 3 etc., dacă toate celelalte condiții rămîn aceleași. Importanța pe care pitagoreicii o atribuiau numărului în întreaga lor concepție asupra lumii este legată de impresia adîncă pe care le-a făcut-o descoperirea de mai sus. Constructorii de orgi, foarte răspîndite încă în secolul al IX-lea e.n., trebuie să fi cunoscut relația corespunzătoare pentru tuburile sonore. Se pare că știința acusticii nu a mai participat în alt fel la marile progrese ale artei muzicale, în cele două milenii de după Pitagora. Abia *Galilei* a dat, și aici, impulsul care trebuia să fie hotărîtor pentru dezvoltarea ulterioară. În amintitele *Discorsi* din 1638, el stabilește că numărul de vibrații (frecvența) este corelatul fizic al înălțimii sunetului pe care îl percepem noi, definește raportul frecvențelor drept caracteristica înălțimii relative a două sunete și arată în ce fel depinde frecvența unei coarde de lungime, tensiune și masă. El a înțeles și a explicat excitarea vibrațiilor prin rezonanță, și-a dat seama de caracteristicile undelor staționare la suprafața apei în vase pe care le făcea să vibreze prin frecare. Cam în aceeași epocă, anume în

1636, fostul său discipol, Marin *Mersenne* (1588—1648), a ajuns ceva mai departe; lui îi datorăm prima determinare absolută a unor frecvenţe şi măsurarea vitezei sunetului în aer, precum şi recunoaşterea faptului că, de cele mai multe ori, o coardă emite, pe lîngă sunetul fundamental şi armonicile respective. Joseph *Sauveur* (1653—1716) a făcut acelaşi lucru pentru tuburile de orgă, a înţeles esenţa bătăilor şi a stabilit poziţia nodurilor şi a ventrelor la coarde, cu ajutorul unor călăreţi de hîrtie, care se mai folosesc şi astăzi.

Otto v. *Guericke* a dovedit pe cale experimentală că, spre deosebire de lumină, sunetul nu se propagă în vid. Dependenţa vitezei sunetului de compresibilitatea şi de densitatea aerului a fost calculată de *Newton*, în *Principia*, deşi formula sa a început să concorde cu experienţa abia în 1826, cînd Laplace a înlocuit compresibilitatea izotermă prin cea adiabatică. Perfecţionarea matematică a mecanicii în secolul al XVIII-lea a folosit şi acusticii. Dar ea îşi găseşte un experimentator de seamă abia în Ernst Friedrich *Chladni* (1756—1827) care, în 1802, a adăugat la vibraţiile transversale ale coardelor şi ale barelor, de mult cunoscute, vibraţiile longitudinale şi de torsiune, a făcut vizibile în figurile sale sonore liniile nodale ale unor plăci vibrante şi a măsurat viteza sunetului şi în alte gaze decît în aer. Propagarea sunetului în lichide a fost multă vreme pusă la îndoială din cauza pretinsei incompresibilităţi a acestora, deşi Benjamin *Franklin* (1706—1790) făcuse, în 1762, observaţii directe în această privinţă. Abia în 1827, Jean-Daniel *Colladon* (1802—1892) şi Jacob Franz *Sturm* (1805—1855) au adus o dovadă convingătoare determinînd valoarea de $1{,}435 \cdot 10^5$ cm/s pentru viteza sunetului în lacul Geneva.

În cursul secolului al XIX-lea, acustica fizică s-a dizolvat tot mai mult în teoria undelor elastice. Din optică i s-au transmis ideile de interferență, difracție și împrăștiere. Principiul lui Doppler, apărut în 1842 ca o idee a opticii (cap. 6), și-a găsit prima verificare în variațiile înălțimii sunetului, care se pot percepe la sirenele locomotivelor în momentul trecerii acestora prin fața observatorului. Analiza Fourier (cap. 7), creată inițial pentru problemele de propagare a căldurii, a sărbătorit adevărate victorii cînd a fost aplicată la undele sonore, cu atît mai mult cu cît descompunerii oricărei oscilații periodice în oscilații sinusoidale îi corespunde o realitate psihologică nemijlocită ; după cum a stabilit în 1843 Simon *Ohm* (1787—1854), urechea noastră este capabilă să perceapă fiecare din aceste oscilații în parte. Și chiar dacă aceasta nu reușește, din cauza intensităților insuficiente sau din lipsă de exercițiu, ele determină totuși, cum a subliniat *Helmholtz*, în lucrarea *Teoria percepерii sunetelor* (Lehre von den Tonempfindungen, 1862), timbrul amestecului de sunete.

Acustica s-a văzut în fața unor probleme tehnice dificile după ce, în 1861, Philipp *Reis* (1834—1874) și, în 1875, Alexander Graham *Bell* (1847—1922) au inventat telefonul, iar în 1878 David Edwood *Hughes* (1831—1900) a perfecționat substanțial microfonul lui Reis ; căci acum era vorba despre o cît mai perfectă redare a glasului omenesc și a sunetelor muzicale. Transmiterea sunetului prin unde electrice, un rod al războiului mondial din 1914—1918, a întărit și mai mult importanța acestei noi ramuri aplicate, care este „electroacustica". Fonograful, construit în 1877 de Thomas Alva *Edison* (1847—1931), aparține aceluiași domeniu.

Tot în timpul primului război mondial, Paul *Langevin* (1872—1946) a descoperit, în plăci de cuarț excitate piezoelectric, mijlocul de a produce unde sonore în apă, a căror frecvență de ordinul a 100 000 s^{-1} se situează departe dincolo de pragul auditiv. Acest „ultrasunet" era menit să depisteze submarinele. Fizica l-a folosit mai tîrziu la studiul vibrațiilor proprii ale corpurilor solide, la măsurarea vitezei sunetului în funcție de frecvență, în gaze și în lichide, precum și pentru multe alte scopuri. Ultrasunetul joacă un rol însemnat în biologie.

3

GRAVITAȚIA ȘI ACȚIUNEA LA DISTANȚĂ

Cercetarea gravitației a fost strîns împletită cu apariția mecanicii. E drept, în toate timpurile, din antichitate și pînă în zilele noastre, spiritul omului a fost preocupat de gravitație și probabil că, în afară de atomistică, nu a existat nici un obiect al fizicii despre care să se fi făcut atîtea speculații ca despre cauzele acesteia. Ceea ce știm cu adevărat despre gravitație se datorește unor oameni care s-au mărginit să întrebe : cum acționează ? Cel mai departe a mers aici Galileo *Galilei,* care s-a mulțumit pur și simplu cu constatarea că în apropierea suprafeței Pămîntului se comunică corpurilor o accelerație constantă, verticală și orientată în jos ; atîta îi era suficient pentru ca să deducă legile căderii libere. Dar și faimosul *hypotheses non fingo* de la sfîrșitul *Principiilor* lui *Newton* reprezintă aceeași linie. Amîndoi au acordat cea mai mare importanță faptului că toate corpurile capătă aceeași accelerație și au verificat aceasta, nu numai în cazul căderii libere, ci și stabilind independența perioadei pendulului de natura corpului pendular. Ideea contrară, pe deplin logică, ar putea fi formulată astfel : gravitația este proporțională cu o anumită „masă grea", diferită de masa inertă. Egalitatea celor două mase este una dintre cele mai remarcabile trăsături ale teoriei gravitației.

Ideea că gravitația nu se limitează la vecinătatea Pămîntului, ci constituie o proprietate generală a ma-

teriei şi acţionează deci şi între corpurile cereşti, este iarăşi destul de veche. De exemplu, Nicolai *Copernic* şi R. *Hooke* pot fi consideraţi aci ca precursori. În decursul secolului al XVII-lea — iar la unii, pînă tîrziu în secolul al XVIII-lea — s-a bucurat de mai mult prestigiu doctrina marelui filozof René *Descartes* (1596—1650) care, respingînd vidul drept o *contradictio in adjecto*, îşi închipuia că spaţiul interstelar este umplut cu un fluid turbionar şi că acesta antrenează planetele care „plutesc" în el. *Newton* a consacrat părţi importante din *Principia* în vederea combaterii acestei teorii, pe baza hidrodinamicii. Dacă ne întrebăm de unde provine legea atracţiei universale, care poartă numele lui Newton (forţa este proporţională cu cele două mase şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre ele), atunci trebuie să amintim următoarea triadă : Tycho *Brahe* (1546—1601), căruia îi datorăm, îndeosebi, serii de observaţii deosebit de precise şi efectuate consecvent asupra poziţiilor planetelor ; Johannes *Kepler* (1571—1630), care a dedus de aici cele trei legi ce-i poartă numele (orbita eliptică, egalitatea ariilor măturate de raza vectoare în timpuri egale şi „pătratele perioadelor de revoluţie se raportă ca şi cuburile axelor mari") şi a presimţit, ca mulţi dintre contemporanii săi de altfel, scăderea forţei cu pătratul distanţei ; şi, în sfîrşit, Isaac *Newton*, care a demonstrat această lege, verificînd-o cantitativ în privinţa acceleraţiei la suprafaţa Pămîntului şi a acceleraţiei căreia îi este supusă Luna ; tot el a dedus pe cale matematică legile lui Kepler, din legea gravitaţiei şi din legea generală a mişcării, formulată de el. Această lege poartă pe drept numele lui Newton. Căci nimeni dintre predecesorii lui nu a fost în stare să deducă legile lui Kepler într-o formă matematică stringentă,

împreună cu micile abateri de la acestea, determinate de perturbaţiile reciproce ale planetelor, să explice anomaliile mişcării Lunii şi legătura lor cu fluxul şi refluxul. Impresia produsă asupra contemporanilor trebuie să fi fost imensă; în adevăr, aceasta nu trebuie să ne mire, dat fiind că pînă atunci poziţiile planetelor contau drept manifestare directă a voinţei divine şi că această descoperire înlătura dintr-o lovitură întreaga astrologie, atît de apreciată înainte. Probabil că nimic n-a întărit atît de mult respectul faţă de tînăra fizică decît a făcut-o calculul newtonian al orbitelor planetare. De atunci, ştiinţa naturii a devenit o mare putere spirituală, pe care nici o altă putere nu o poate ignora nepedepsit. Şi pentru concepţia asupra sistemului de stele fixe, legea lui Newton a însemnat o totală răsturnare. De la *Aristotel* şi pînă la *Kepler* inclusiv, e adevărat, cu excepţia lui Giordano *Bruno,* care era însă într-o prea mare măsură fantast pentru a putea conta ca om de ştiinţă (cap. 6), oamenii şi-au închipuit că stelele fixe sînt prinse de o suprafaţă sferică avînd Soarele drept centru, sau că sînt cuprinse într-o pojghiţă sferică relativ subţire, dincolo de care nu ar mai fi nimic, nici măcar spaţiu. Chiar *Kepler* a refuzat să considere Soarele drept una dintre numeroasele stele fixe. Acum a devenit limpede că sistemul de stele fixe nu este de loc ceva static, ci formează un ansamblu dinamic, care se menţine prin legea atracţiei, dar care este supus unei mişcări interne, adică unei schimbări a constelaţiilor. Astfel, s-a pus imediat problema diverselor distanţe dintre stelele fixe şi problema mişcărilor lor proprii pe bolta cerească. Chiar dacă aceste probleme au putut fi atacate cu succes abia mai tîrziu, concepţia unui spaţiu cosmic nemărginit, cu o mulţime de sisteme planetare, şi înca-

drarea Soarelui în rîndul stelelor fixe au apărut ca o consecință necesară a descoperirii lui Newton.

Legea atracției universale mai conține un factor de proporționalitate, constanta gravitațională, care exprimă forța cu care se atrag două mase de cîte 1 g, situate la distanța de 1 cm. Astronomia este în stare să compare masele diferitelor corpuri cerești, dar nu să obțină această constantă. Experimentul necesar pentru aceasta a fost realizat în 1798, de Henry *Cavendish*, cu ajutorul balanței de torsiune, pe care Coulomb (cap. 5) o folosise încă în 1785 la măsurători electrice. Valoarea constantei este de $6{,}7 \cdot 10^{-8}$ g^{-1} cm^3 s^{-2}, masa Pămîntului, calculată pe această bază, este de $6 \cdot 10^{27}$.

Amintim numai în treacăt că, pornind de la legea atracției universale, Joseph-Louis *Lagrange* a definit potențialul (în 1777), al cărui gradient dă forța de atracție, că Pierre-Simon de *Laplace* a dedus, în 1782, pentru această funcție de coordonate ecuația cu derivate parțiale $\Delta\varphi = 0$, care-i poartă numele și care a fost apoi modificată în modul cunoscut, în 1812, de către Siméon-Denis *Poisson* (1781—1840) pentru interiorul substanței. Acestea au fost pregătiri importante în vederea teoriei potențialului din electrostatică (cap. 5). Ecuația diferențială a lui Laplace-Poisson este expresia generalizată a legii atracției universale a lui Newton. Ea rezultă din aceasta și duce înapoi la aceasta dacă o aplicăm unor puncte materiale (sau unor sfere omogene).

Legea atracției universale a pus bazele astronomiei teoretice, a cărei sarcină principală este de a calcula perturbațiile orbitelor planetare, cauzate de atracția dintre planete ; această problemă îi mai preocupă și astăzi pe astronomi și pe matematicieni. Mecanica și-a dezvoltat

metodele matematice, în parte, pe această bază. Un jalon în drumul ei a fost deja amintita *Mécanique céleste* a lui *Laplace* (apărută pe la 1800). Cît de bine se verifică aici legea, reiese în modul cel mai convingător din descoperirea penultimei dintre planetele cunoscute pînă acum. Pornind de la perturbaţiile orbitei lui Uranus, J. C. *Adams* (1818—1892) şi Urbain-Jean-Joseph *Leverrier* (1811—1877) au calculat, independent unul de celălalt, orbita unei planete şi mai depărtate de Soare, iar în 1846 Johann Gottfried *Galle* (1812—1910) a descoperit această planetă, Neptun, pe o hartă stelară de curînd întocmită, într-un punct care prezenta o abatere de circa un grad faţă de poziţia indicată de Leverrier [1]. Numai o singură diferenţă minimă rămăsese între poziţiile observate şi teorie. Din cauza abaterii de la forma eliptică a orbitei planetare perturbate, periheliul, punctul cel mai apropiat de Soare, se roteşte încet în planul orbitei. Teoria perturbaţiilor explică acest fenomen, în bună concordanţă cantitativă cu observaţiile pentru toate planetele, cu excepţia celei mai apropiate de Soare, anume Mercur ; aici a rămas un rest neexplicat de 42 secunde de arc pe secol.

Teoria relativităţii generalizate (1913 şi următorii) a lui *Einstein* a explicat aceasta, în 1916, ca fiind o consecinţă a curburii spaţiului şi a micşorării vitezei luminii, care, potrivit acestei teorii, sînt determinate de orice cîmp gravific, dar devin importante doar în apropierea unui corp atît de masiv ca Soarele. Cele 42" care rezultă cu rigurozitate din masa Soarelui, din constanta

[1] Descoperirea lui Pluton (1930) de către Clyde *Tombaugh* la Observatorul astronomic Flagstaff (Arizona) nu poate fi citată aici, deşi istoriceşte există o legătură cu calculele îndelungate ale lui Percival *Lowell* (1855—1916). Astăzi, legătura aceasta se consideră că a fost întîmplătoare.

gravitațională și din distanța Mercur-Soare constituie unul dintre cele trei fapte empirice care sprijină această teorie genială, dar încă nu pe deplin confirmată (cap. 6).

Legea newtoniană a atracției universale afirmă, dacă o luăm literal, o acțiune la distanță nemijlocită. Din totdeauna s-au ridicat obiecții împotriva posibilității unei astfel de acțiuni, chiar și pe vremea lui Newton ; și nici el nu nega această dificultate. Speculațiile amintite mai sus despre cauzele gravitației rezultă, în mare măsură, din tendința de a găsi un mecanism de transmitere. Cu toate acestea, sub imensa impresie produsă de descoperirea lui Newton, ideea acțiunii la distanță s-a extins și asupra altor domenii ale fizicii. La aceasta a contribuit, desigur, și faptul că din ea s-a putut deduce simpla și eleganta teorie matematică a potențialului. Pe cînd în mecanica corpurilor deformabile se lucra exclusiv cu acțiuni din aproape în aproape, primele teorii ale fenomenelor electrice și magnetice s-au întemeiat pe acțiunea la distanță. Schimbarea s-a produs abia în doua jumătate a secolului al XIX-lea, sub influența lui Michael *Faraday* (1791—1867) și a lui J. C. *Maxwell* (1831—1879), și s-a impus după descoperirea undelor electrice (1887), care se propagă cu viteza luminii, de către Heinrich *Hertz* (1857—1894). Cu aceasta a pierdut parțial creditul și acțiunea la distanță a gravitației, mai ales după ce teoria relativității restrînse (1905) a recunoscut în viteza luminii limita superioară pentru viteza de propagare a tuturor acțiunilor fizice. Teoria relativității generalizate (1913 și urm.) atribuie și propagării gravitației viteza luminii și afirmă existența unor unde gravitaționale ; excitarea lor cu o intensitate observabilă eșuează din cauza unor dificultăți expe-

rimentale de neînvins. Ca aproximație, legea newtoniană a atracției universale rămîne în picioare.

O dovadă amuzantă a prestigiului covîrșitor pe care și l-au cîștigat ideile newtoniene stă în faptul că știința secolului al XVIII-lea a relegat meteoriții în domeniul fabulei, deși existau în acest sens mărturii, începînd din cea mai îndepărtată antichitate. Pentru epigonii lui Newton, căderea haotică a unor pietre și mase feroase „din cer" părea de neconciliat cu ordinea cosmică dezvăluită de magistrul lor. Abia în 1794, Ernst Friedrich *Chladni* a folosit experiența sa de jurist pentru a compara critic între ele numeroasele mărturii și a dedus din buna concordanță a unor informații total independente realitatea celor observate. Cînd apoi, în 1803, un mare roi meteoritic a căzut în apropiere de Laigle (departamentul Orne, Franța) și Jean-Baptiste *Biot* (1774—1862) a putut să-l cerceteze, Academia din Paris s-a văzut nevoită să renunțe la punctul ei de vedere negativ. Într-adevăr, între cer și Pămînt existau mult mai multe lucruri decît putuse să-și închipuie înțelepciunea școlilor [1].

[1] „Nu-i vorbă, Hamlet are dreptate spunînd acestea ; în schimb, există și în înțelepciunea școlilor lucruri din care nu găsim nici urmă între cer și Pămînt". Această butadă i se atribuie spiritualului fizician Georg Christoph *Lichtenberg* (1742—1799), de la Göttingen.

4

OPTICA

Optica este cu foarte puțin mai tînără decît mecanica; noțiunea de rază este străveche. Încă *Heron din Alexandria* (pe la 125 î.e.n.) a stabilit legătura dintre caracterul ei rectiliniu și principiul drumului de cea mai scurtă durată. El a dedus din acest principiu și legea reflexiei. De asemenea, antichitatea a cunoscut imaginile obținute cu oglinzi concave și cu lentile. Poziția focarelor, precum și imprecizia convergenței razelor în imaginea unui punct luminos au fost descrise de Roger *Bacon* (1214—1294). Ochelarii par să fi fost inventați de florentinul Salvino degli *Armati*, pe la 1299. Pentru legea refracției se pot dovedi mai multe paternități: Willibrord *Snell*, numit Snellius (1591—1626), care, după mărturia lui Huygens, a dedus-o din măsurători și a publicat-o într-o scriere pierdută; René *Descartes*, care a dedus-o în 1644 din reprezentările sale corpusculare asupra luminii; și Pierre de *Fermat* (1609—1655), care a legat-o de sus-menționatul principiu al drumului optic de cea mai scurtă durată. *Kepler* nu a reușit prea bine aci; formula sa este valabilă numai ca aproximație pentru unghiuri de incidență mici, dar i-a fost suficientă pentru construirea unei teorii perfect utilizabile a lunetei. Cu legea reflexiei și cu legea refracției, fundamentele fizice ale opticii geometrice erau complete, iar dezvoltarea ei ulterioară a fost mai ales opera matematicienilor și a constructorilor de instrumente. Oameni ca William

Rowan *Hamilton* şi Carl Friedrich *Gauss* (1777—1855) şi-au adus contribuţia ; cu toată munca şi ingeniozitatea lor, optica geometrică nu a ajuns încă într-o stare încheiată. Limitele valabilităţii ei sînt impuse de natura ondulatorie a luminii ; ele se manifestă la microscop în faptul că, după cum au stabilit în 1874 Ernst *Abbe* (1840—1905) şi Hermann v. *Helmholtz*, acesta nu este în stare să dea, în lumină vizibilă, imaginea a două puncte situate la distanţă mai mică de 10^{-5} cm. Această limită scade dacă folosim lumina ultravioletă, a cărei lungime de undă este mai mică ; iar cu raze Röntgen, putem măsura, după cum se ştie din 1912, cu ajutorul fenomenelor de interferenţă, distanţele dintre atomi în corpurile solide, care sînt de ordinul a 10^{-8} cm (cap. 12). Cu ajutorul unor unde de Broglie de $5 \cdot 10^{-10}$ cm, J. W. *Menter* a reuşit, în 1956, să obţină imagini optice directe ale unor plane reticulare cristalografice, a căror distanţă este de $1{,}5 \cdot 10^{-7}$ cm.

Pentru optica mai veche, explicarea culorilor a constituit o deosebită dificultate. Dovada, făcută în 1672, că lumina colorată este de natură mai simplă decît cea albă a fost a doua mare realizare a lui Isaac *Newton* ; nimic nu ilustrează mai bine însemnătatea acestei descoperiri decît protestul pasionat al lui *Goethe* (1791—1792 şi 1810), care se referă, în ultimă instanţă, la faptul că ochiul, spre deosebire de ureche, nu analizează armonic oscilaţiile care-l excită, ci percepe lumina albă ca ceva unitar. Ceea ce l-a determinat pe *Newton* să se ocupe de prismă au fost aberaţiile cromatice ale instrumentelor optice, pe care le considera inevitabile ; construcţia telescopului său cu oglindă (realizat în 1672), care le înlătură principial, trebuie

pusă în legătură cu aceasta. Şi urmaşii săi şi-au menţinut acest punct de vedere, pînă cînd Chester Moor *Hall* (1704—1770), în 1733, şi apoi John *Dolland* (1706—1761) au construit obiective acromatice pentru lunete, compensînd reciproc dispersia a două sorturi de sticlă diferite. În 1800, Friedrich Wilhelm *Herschel* (1738—1822) a stabilit că limitele spectrului nu coincid cu cele ale luminii vizibile şi că dincolo de roşu există o radiaţie mai puţin refractată, care se poate pune în evidenţă prin acţiunea ei termică ; cu un an mai tîrziu, Johann Wilhelm *Ritter* (1776—1810), precum şi William Hyde *Wollaston* (1766—1828) au descoperit radiaţia chimic activă situată dincolo de violet.

A explica în mod firesc prin măsură şi număr continuitatea diverselor soiuri de lumină pe care le separă prisma constituia o problemă asemănătoare cu măsurarea timpului (cap. 1). Denumirile de roşu, galben etc. marcau în acest continuu delimitări prea lipsite de precizie şi prea subiective, prea diferite de la un individ la altul. De aceea, s-a realizat un progres extraordinar cînd, în 1814—1815, Joseph v. *Fraunhofer* (1787—1826) a descoperit liniile întunecate din spectrul Soarelui, care-i poartă numele, introducînd un colimator în faţa prismei şi o lunetă în spatele ei. El a folosit aceste linii drept repere şi a putut imediat să ridice considerabil precizia de măsurare a indicilor de refracţie, atribuind fiecăreia dintre aceste linii o anumită valoare. Pînă astăzi, acest procedeu este folosit pentru anumite scopuri tehnice. Soluţia problemei a venit însă abia în 1821—1822, cînd Fraunhofer a descoperit difracţia prin reţele şi cînd Friedrich Magnus *Schwerd* (1792—1871) a dat interpretarea ondulatorie a fenomenului (1835) ; de atunci, putem asocia fiecărui fel de lumină lungimea de undă corespunză-

toare măsurabilă — pornind de la constanta rețelei și de la unghiul de difracție — cu precizii relative pînă la ordinul 10^{-7}. De atunci există spectroscopia, cu imensa ei importanță pentru ansamblul științei și al tehnicii. De exemplu, măsurătorile lungimilor de undă efectuate de F. *Paschen* (1865—1947) pentru liniile hidrogenului și ale heliului, îndeosebi determinarea precisă, pe această bază, a constantei lui Rydberg, au oferit o confirmare decisivă a modelului atomic al lui *Bohr* (cap. 14).

O altă problemă mult discutată în secolul al XVII-lea a fost existența unei viteze finite de propagare a luminii ; Descartes o nega, Galilei o susținea, — amîndoi fără justificare empirică. Mijloacele de atunci nu erau suficiente pentru un experiment decisiv. Dar pe baza observării eclipselor unuia dintre sateliții lui Jupiter, care reveneau aproape periodic, dar nu exact periodic, Olaus *Römer* (1644—1710) a tras, în 1676, celebra sa concluzie că viteza luminii în vid este de aproximativ $3 \cdot 10^{10}$ cm/s. Observațiile lui James *Bradley* (1693—1762) asupra aberației au furnizat, în 1728, dovada — foarte bine venită față de îndoielile cartesienilor — că ea este de 10^4 ori mai mare decît viteza orbitală a Pămîntului. Măsurători experimentale au putut să facă, abia în 1849, Armand *Fizeau* (1819—1896), cu ajutorul roții dințate rotitoare, și în 1862 Jean-Bernard-Léon *Foucault* (1819—1868), cu ajutorul oglinzii rotitoare. Mulți au repetat apoi aceste măsurători, de obicei cu aceleași metode. Cea mai recentă determinare a lui Albert Abraham *Michelson* (1852—1931), din anii 1925 și 1926 pe distanța de 70 km, de la Mount Wilson în California pînă la

Mount Antonio și înapoi, a dat $2{,}99796 \cdot 10^{10}$ cm/s, cu o eroare probabilă de $4 \cdot 10^5$ cm/s.

În teoria luminii au jucat un rol hotărîtor descoperirea interferenței, a difracției și a polarizării. Primele observații din acest domeniu se datoresc lui Francesco Maria *Grimaldi* (1618—1663) care, într-o lucrare apărută postum, în 1665, descrie amănunțit difracția produsă de o bară și o rețea ; aceste observații au rămas fără influență asupra dezvoltării științei, chiar și după ce au fost repetate de *Newton.* Același lucru se poate spune despre descoperirea de către Robert *Boyle* a inelelor colorate la straturi subțiri (1663), care poartă numele lui *Newton,* pentru că abia el și-a dat seama de dependența culorii de grosimea stratului. *Newton* s-a exprimat în favoarea unei „teorii a emisiei" corpusculare a luminii, cu oarecare rezervă însă, deoarece punea vădit mai mult preț pe rezultatele sale experimentale decît pe interpretarea lor ; în cuvîntul introductiv al *Opticii* sale, el respinge ipotezele, tot atît de categoric ca și la sfîrșitul *Principiilor.* Cu atît mai tare s-au cramponat epigonii săi de această teorie, care s-a menținut pînă în secolul al XIX-lea, de exemplu la Jean-Baptiste *Biot,* care s-a lăsat abia tîrziu convins de teoria ondulatorie, deși i-a fost dat să asiste de la cea mai mare apropiere la dezvoltarea ei.

O teorie ondulatorie a fost întrevăzută cu timiditate încă de *Grimaldi* și, cu mai multă hotărîre, de Robert *Hooke.* Însă aceasta datează, propriu-zis, abia din 1678, cînd Christian *Huygens* a prezentat Academiei din Paris lucrarea sa *Traité de la lumière* (Tratat despre lumină, tipărit în 1690). Pornind de la ideea unei mișcări ondulatorii longitudinale, el deduce, pe baza construcției huygensiene a înfășurătoarelor, pro-

pagarea în linie dreaptă, legea reflexiei și a refracției, — pe aceasta din urmă nu numai pentru corpuri izotrope, ci și pentru spatul de Islanda, a cărui birefringență o explică prin acțiunea concomitentă a două suprafețe de undă, dintre care una este o sferă, ca la corpurile izotrope, iar cealaltă un elipsoid de rotație. Lucrarea trece total sub tăcere descompunerea spectrală în culori.

Spre deosebire de mecanică, în teoria luminii domnește, în secolul al XVIII-lea, o relativă stagnare. Apoi a început însă epoca „eroică" a teoriei ondulatorii, care a durat din 1800 pînă pe la 1835 ; progresul a avut loc îndeosebi în Anglia și în Franța. În 1801, Thomas *Young* (1773—1829) a introdus ideea interferenței și a aplicat-o, în modul cunoscut, inelelor lui Newton. El a fost primul care a obținut o determinare cantitativă, deși aproximativă, a lungimilor de undă ale luminii. Tot el a stabilit deosebirea dintre raze coerente, provenite din același izvor luminos, și raze incoerente. Young a aplicat această idee la interpretarea difracției, concepînd-o ca pe o interferență a luminii care trece direct prin orificiul de difracție cu undele marginale ; vom mai reveni la această chestiune. În 1809, Etienne-Louis *Malus* (1775—1812) a descoperit polarizarea, pe care el personal a considerat-o drept o infirmare a teoriei ondulatorii ; în adevăr, ea nu poate fi pusă de acord cu undele longitudinale din *Tratatul* lui *Huygens*. Continuînd această linie, Dominique-François *Arago* (1786—1853) a descris, în 1811, efectele de culoare care se pot observa la cristale în lumină albă polarizată. În 1817, Young s-a văzut nevoit să enunțe, de aceea, transversalitatea undelor luminoase, deși o astfel de reprezentare era în totală contradicție cu concepțiile uzuale. În 1815, genialul

Augustin-Jean *Fresnel* (1788—1827) şi-a început cariera de descoperitor, din păcate atît de scurtă. Fizica îi datoreşte — în afară de numeroase observaţii noi asupra difracţiei şi interferenţei — teoria difracţiei în forma unei construcţii zonale (1818), care introduce principiul înfăşurătoarelor lui Huygens în ideea interferenţei; împreună cu *Arago* (1819), Fresnel a făcut dovada că raze polarizate perpendicular una faţă de alta nu interferă, ceea ce a confirmat definitiv teoria oscilaţiilor transversale. Cristalooptica sa, valabilă şi astăzi, interpretează, între altele, experimentele lui Arago. În aceeaşi perioadă au loc şi experimentele de difracţie din 1821—1822 ale lui Fraunhofer, deosebite de ale lui Fresnel şi mai simple sub raport teoretic, pe care *Schwerd* le-a încheiat, într-un anumit sens, în lucrarea sa de sinteză *Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt* (1835) (Fenomenele de difracţie, deduse analitic din legile fundamentale ale teoriei ondulatorii).

Ideea de interferenţă, după care undele ce se întîlnesc nu trebuie neapărat să se întărească reciproc, spre deosebire de razele corpusculare, ci pot chiar să se atenueze pînă la totala lor stingere, este de atunci una dintre cuceririle cele mai de preţ ale fizicii. Oridecîteori avem în faţă o radiaţie de natură necunoscută căutăm să producem interferenţe; dacă reuşim, caracterul ei ondulatoriu este demonstrat.

Astfel, a ajuns un fapt stabilit că lumina este o mişcare ondulatorie transversală. Aparatele şi experimentele de interferenţă se acumulau cu timpul, pe măsură ce progresa tehnica experimentală, şi contribuiau, la rîndul lor, la mărirea preciziei măsurătorilor. Macedonio *Melloni* (1797—1854) a arătat, pe la 1834, că

radiația infraroșie se comportă exact ca lumina în experimentele de reflexie-refracție și de absorbție, iar în 1846, Carl Hermann *Knoblauch* (1820—1895) a stabilit, prin experimente de interferență, de difracție și de polarizare, că ea se deosebește de lumină numai prin lungimea ei de undă mai mare. În 1856, Johann Heinrich Jacob *Müller* (1809—1875) a aplicat noua artă a fotografiei la radiația ultravioletă, a cărei lungime de undă este mai mică. Iar în noiembrie 1895, cunoașterea spectrului s-a lărgit considerabil, prin epocala descoperire a lui Wilhelm Conrad *Röntgen* (1845—1923). Imediat după aceea (1896), Emil *Wiechert* (1861—1928) și George Gabriel *Stokes* (1819—1903) au dedus, din felul cum apar, că razele Röntgen sînt o radiație luminoasă cu lungimea de undă foarte mică. Această concluzie și-a găsit confirmarea deplină în experimentele de polarizare ale lui C. G. *Barkla* și în experimentele de interferență ale lui W. *Friedrich* și P. *Knipping* (1883—1935) pe rețelele atomice spațiale ale cristalelor. Lungimea lor de undă variază între 10^{-7} și 10^{-9} cm. În 1949, cu aceleași mijloace ajutătoare, Jesse *Du Mond* a extins optica, cuprinzînd în ea și radiațiile γ a căror lungime de undă este și mai mică.

Teoria progresa și ea. Întîi, ideea lui *Young* referitoare la undele marginale în fenomenul difracției și-a găsit o confirmare surprinzătoare cînd L. George *Gouy* (1854—1926), în 1883, și apoi Wilhelm *Wien* (1864—1928), în 1885, le-au văzut direct în lumina difractată sub un unghi mare; pînă atunci, observațiile se făcuseră numai în apropierea marginii umbrei. Construcția zonală, genial intuită de *Fresnel*, a fost introdusă definitiv, în 1883, în teoria matematică a undelor, de către G. R. *Kirchhoff*; și, în 1917, A. *Rubinowicz* i-a continuat opera, demonstrînd matematic, de exem-

plu, identitatea concepției lui *Young* cu cea a procesului de difracție a lui *Fresnel*. Dacă, în toate aceste cercetări, a trebuit să se recurgă la aproximații, A. *Sommerfeld* (1868—1951) a reușit, în 1894, să trateze matematic riguros difracția produsă de o margine rectilinie și să justifice de aici aproximațiile anterioare.

Oscilațiile luminoase au fost concepute întîi — oare se putea altfel ? — ca unde elastice, analoge vibrațiilor transversale în corpurile solide. Mediul care trebuia să le poarte prin vid a căpătat denumirea de eter. Căci de cînd E. *Torricelli* și O. v. *Guericke* (cap. 2) produseseră spații lipsite de aer, era stabilit că lumina — spre deosebire de sunet — nu are nevoie de substanță pentru propagarea ei. Desigur, era greu atunci să se explice de ce apar în eter numai unde transversale, nu și longitudinale ; se cunoșteau corpuri în care sînt posibile numai unde longitudinale, dar nu și transversale : lichidele și gazele. Situația inversă nu putea fi explicată de nici o teorie a elasticității. Nici problema reflexiei și a refracției nu-și găsea o soluție matematică completă. Dar, în 1865, J. Cl. *Maxwell* a tras, din teoria electricității și magnetismului (cap. 5), creată de el, concluzia matematică a posibilității unor unde electromagnetice care să se propage cu viteza luminii, indicînd imediat ca exemplu lumina. Teoria electromagnetică a luminii era în mai bună concordanță cu experiența decît cea elastică, întrucît nu admitea decît unde transversale, iar dificultățile legate de reprezentarea proprietăților mecanice ale eterului le trecea pe al doilea plan, reducîndu-le la problema mai cuprinzătoare a unei interpretări mecanice a electrodinamicii. Ea conducea, în plus, la o relație simplă,

valabilă empiric pentru multe corpuri, între indicele de refracție și constanta dielectrică, și implica, după cum a arătat în 1875 Hendrik Antoon *Lorentz* (1853—1928), teoria completă a formulelor lui *Fresnel*, privitoare la intensitatea luminii reflectate și refractate, formule confirmate empiric, dar neinterpretate de teoria elastică. Cu toate aceste avantaje, teoria electromagnetică a trebuit să lupte timp de trei decenii pentru recunoașterea ei, atît de mare era puterea teoriei mai vechi, sprijinită pe concepția generală mecanicistă a naturii. După ce, în 1888, Heinrich *Hertz* a descoperit undele electromagnetice și a demonstrat că ele prezintă toate proprietățile luminii, — refracție și reflexie, interferență, difracție și polarizare, precum și propagare cu viteza luminii, — victoria a început să încline treptat spre noua teorie. Vechea dispută, dacă oscilațiile luminoase se produc în planul de polarizare, cum susținea *Fresnel*, sau perpendicular pe acesta, cum credea Franz *Neumann* (1798—1895), a fost soluționată de teoria reflexiei a lui *Lorentz* și de un experiment al lui Otto Heinrich *Wiener* (1862—1927) cu unde luminoase staționare, în sensul că intensitatea cîmpului electric oscilează perpendicular pe acest plan, pe cînd intensitatea cîmpului magnetic oscilează în el. În 1889, *Hertz* a tras de aici concluzia că faptul emisiei permanente de radiație termică sau luminoasă indică existența unor procese electromagnetice care se desfășoară tot timpul în corpuri. Această contopire firească a celor două teorii, pînă atunci total independente, a luminii și a electrodinamicii este unul dintre evenimentele — și poate cel mai mare dintre ele — pe care Introducerea le cita ca dovezi pentru adevărul cunoașterii în fizică.

Teoria inițială a lui *Maxwell* reda, ce-i drept, în mod complet propagarea luminii în vid, nu însă și proprietățile optice ale materiei ; îndeosebi, îi lipsea interpretarea dispersiei indicelui de refracție. Aici a intervenit ca un factor de completare transformarea teoriei moleculare în „teorie electronică", pe care o datorăm îndeosebi lui Joseph *Larmor* (1857—1942) și lui Hendrik Antoon *Lorentz* ; ea interpretează nu numai dispersia normală, ci și cea anormală, legată de absorbția selectivă și descoperită de August *Kundt* (1839—1894) în 1871, ca un fenomen de rezonanță al unor configurații atomice capabile să oscileze. Această teorie electronică și-a sărbătorit cel mai mare triumf în octombrie 1896, cînd Pieter *Zeeman* (1865—1943) a descoperit despicarea liniilor spectrale în cîmp magnetic, a cărei explicație a reușit s-o dea imediat după aceea H. A. *Lorentz* ; rotirea magnetică a planului de polarizare, descoperită de *Faraday* încă în 1845, este strîns legată de acest fenomen. Acum există o teorie închegată, cu nimic inferioară mecanicii, care ține seama de toate fenomenele ce se produc la propagarea luminii. Dar numai trei ani mai tîrziu s-a dovedit că această teorie este insuficientă pentru fenomenele de absorbție și emisie a luminii. De acestea ne vom ocupa în cap. 13 și 14.

De regulă, lumina este generată prin procese de oscilație în atomi sau în molecule, sau, cum este cazul radiației termice a metalelor, prin mișcarea termică a electronilor de conductibilitate. Mișcările libere ale electronilor sau ale altor purtători de sarcină nu produc radiație, cu excepția cazurilor în care viteza lor este superioară vitezei luminii. Desigur, potrivit concepției noastre actuale, bazată îndeosebi pe teoria relativității, o asemenea viteză este imposibilă

în vid. Însă în cazul mişcării electronilor sau a protonilor prin substanţă, aceasta este posibil, deoarece aici viteza luminii este considerabil mai mică. În cazul acesta, purtătorul de sarcină este însoţit de o undă frontală, asemănătoare cu unda de şoc sonoră fotografiată de *Mach* şi de alţii, care însoţeşte proiectilele cu viteză supersonică. Aceasta este explicaţia dată de I. *Tamm* şi I. *Franck*, în 1937, unei observaţii făcute de P. A. *Cerenkov* în 1934 (radiaţia Cerenkov). Ea s-a verificat pe cale experimentală în lucrările lui H. *Wyckoff* şi J. *Henderson* pentru electroni (1943) şi în ale lui R. L. *Mather* pentru protoni (1951).

5

ELECTRICITATEA ŞI MAGNETISMUL

Teoria electricităţii şi a magnetismului este mult mai tînără decît mecanica şi optica. Din antichitate nu ne-au rămas decît cuvîntul magnet şi observaţii elementare asupra chihlimbarului frecat. În afară de busolă, care pare că poate fi atestată în China încă în secolul al II-lea e.n. şi a fost apoi adusă în secolul al XIV-lea de navigatori napolitani în Europa, unde, probabil, fusese descoperită independent (în secolul al XIII-lea) de Pierre de *Maricourt*, într-o lucrare *De magnete*, evul mediu nu a mai adăugat aici decît constatarea că fiecare parte a unui magnet e iarăşi un magnet întreg. Este, poate, cazul să menţionăm spaima lui Cristofor *Columb* în călătoria sa de descoperiri din 1492, cînd a observat că deviaţia estică a busolei, obişnuită pe atunci în Europa de sud, s-a transformat într-una vestică. Chiar şi în primul secol şi jumătate al fizicii din epoca modernă, istoria ideilor din acest domeniu are prea puţin de relatat, deşi nu se poate trece peste incontestabilele merite ale lui William *Gilbert* (1540—1603) care, trasînd cu ajutorul unui mic ac magnetic mersul liniilor de forţă în apropierea unor sfere de oţel magnetizate, a stabilit totala analogie cu acţiunea Pămîntului asupra busolei, punînd astfel capăt tuturor legendelor despre marii munţi magnetici de la Polul Nord, sau despre o forţă orientatoare „emanată" de Steaua Polară. Tot *Gilbert* şi-a dat seama că magnetismul fierului dispare dacă îl în-

călzim la roşu. (El a creat, de altfel, şi cuvîntul „electricitate".) Această situaţie nu a fost cu nimic schimbată nici prin cercetările lui Otto *v. Guericke*, care a observat că corpusculele încărcate la fel se resping, a construit prima maşină de electrizare prin frecare şi a descoperit magnetizarea unor bucăţele de fier numai prin acţiunea cîmpului magnetic terestru. În mecanică, în optică, în teoria căldurii şi în chimie, cercetarea conştientă care începea pe atunci a găsit un vechi tezaur de experienţă preştiinţifică de o anumită valoare ; în cazul electricităţii şi al magnetismului, ea a trebuit să parcurgă întîi singură stadiul „preistoric" corespunzător, înainte de a putea conduce la idei clare. Ceea ce au întîlnit cercetătorii din secolul al XVII-lea şi din prima jumătate a secolului al XVIII-lea erau fenomene complicate, ca : electrizarea prin frecare, formarea de scîntei, influenţa umezelii aerului etc., pe care nu erau în stare să le explice, dată fiind lipsa noţiunilor fundamentale din domeniul electrostaticii.

Totuşi, din această epocă datează o seamă de importante observaţii calitative. Deosebirea dintre conductoare de electricitate şi izolatoare a fost stabilită, în 1731, de Stephen *Gray* (1670—1736), iar în 1759, Franz Ulrich Theodor *Äpinus*, (1724—1802) a precizat că există, în această privinţă, trepte intermediare de tot felul. Amîndoi au observat primele fenomene de influenţă a unor corpuri încărcate asupra unor conductoare izolate. Observaţii întîmplătoare i-au condus, în 1745, atît pe Ewald Georg v. *Kleist* (1700—1748), la Kammin (în Pomerania), cît şi pe Pieter van *Musschenbroek* (1692—1761), la Leyda, la construirea buteliei de Leyda, prima formă a condensatorului electric ; la explicarea ei a lucrat, în afară de *Äpinus*, şi

Benjamin *Franklin* (de la Franklin provin termenii de electricitate pozitivă şi negativă). În legătură cu aceasta, în 1758, Johann Carl *Wilcke* [1] (1732—1796) a descoperit polarizarea dielectricilor, un exemplu tipic de cunoştinţă prematură şi, din această cauză, pierdută apoi foarte curînd. Electroforul, acest condensator cu distanţă variabilă între plăci, a fost descris de *Äpinus* în 1759, apoi în 1775, independent de acesta, de Alessandro *Volta* (1745—1827). Din electrofor s-a dezvoltat, în secolul al XIX-lea, maşina de electrizat prin influenţă, pe care, în 1931, E. J. *van de Graaff* a perfecţionat-o, făcînd din ea o sursă de înaltă tensiune foarte mult folosită astăzi. În 1752 a făcut senzaţie, şi pe drept cuvînt, demonstraţia experimentală a lui Franklin, prin care stabilea natura electrică, de mult bănuită, a furtunilor.

Noţiunea de „cantitate de electricitate" pare să fi constituit un bun comun al secolului al XVII-lea, fiind pusă în legătură, de la început — fără o justificare propriu-zisă — cu ideea increabilităţii şi a indestructibilităţii. Controversa dacă există două „fluide" electrice, care se compensează prin acţiunea lor, sau numai unul care se găseşte într-o anumită cantitate normală în corpul nostru nu se putea soluţiona. Concepţia noastră actuală este dualistă, în măsura în care atribuie sarcinile pozitive şi cele negative unor purtători diferiţi, şi unitară, în măsura în care consideră că principalii purtători ai sarcinilor pozitive, anume nucleele atomice, sînt totodată cea mai esenţială parte constitutivă a substanţei.

În privinţa magnetismului, secolul al XVIII-lea dă, de fapt, numai o singură descoperire — iarăşi prema-

[1] Ortografiat uneori şi Wilke.

tură și, de aceea, ineficientă —, aceea a diamagnetismului, la care Anton *Brugmans* (1732—1789) a ajuns în 1778, constatînd că bismutul este respins de un magnet.

Cunoștințele despre electricitate s-au constituit ca știință abia prin enunțarea legii lui Coulomb, după care forța dintre două sarcini este invers proporțională cu pătratul distanței lor. Această lege are o istorie curioasă. Începutul l-au constituit unele conjecturi legate de legea newtoniană a atracției universale. Dar abia în 1767, *Priestley* a putut stabili, cu toată claritatea, că constatarea făcută de el și de alții, cum ar fi Henry *Cavendish*, că sarcina unui conductor este distribuită în întregime pe suprafața lui, pe cînd interiorul rămîne neafectat de vreo acțiune electrică, este o dovadă stringentă pentru această lege. Dar această constatare nu a fost luată în seamă. În 1785, au venit apoi măsurătorile lui Charles-Auguste de *Coulomb* (1736—1806), efectuate cu ajutorul balanței de torsiune ; el măsura forța dintre două bile încărcate, parte prin devierea statică a balanței de torsiune, parte prin oscilațiile uneia dintre bile, care atîrna de această balanță și era supusă acțiunii celeilalte bile fixe. Dar în 1786, într-o comunicare, *Coulomb* descrie și acțiunea protectoare a conductoarelor față de interiorul lor, — el nu știa nimic despre predecesorii săi, — văzînd aici de asemenea o nouă dovadă pentru legea de forță. Totuși, această parte a publicațiilor sale a căzut într-atîta pradă uitării, încît astăzi legăm acest efect îndeosebi de numele lui *Faraday*. Contemporanilor lui Coulomb le-au rămas în minte numai măsurătorile deosebit de clare cu balanța de torsiune, deși acestea nu erau cîtuși de puțin măsurători de precizie, avînd în vedere

că socoteau neglijabilă o abatere pînă la 5% ; datorită acestor măsurători legea poartă numele lui Coulomb.

Coulomb a considerat că forţa dintre cele două sarcini este proporţională cu cantităţile de electricitate prin simplă analogie cu legea newtoniană. El nu putea să dea o dovadă în acest sens, pentru simplul motiv că nu exista încă o unitate de măsură pentru sarcini. Ideea de a defini această unitate de măsură chiar din legea lui Coulomb apare abia la *Gauss.*

Coulomb şi-a extins legea şi asupra magnetismului. Aici însă experimentele sale erau mai puţin convingătoare, deoarece acumularea de „fluide" magnetice în poli punctiformi rămîne ceva precar, deşi el a încercat să o demonstreze prin măsurători preliminare. Ceea ce este valabil în această extindere îşi găseşte expresia precisă în aplicabilitatea ecuaţiei lui Laplace la magnetism, indicată în 1828 de George *Green* (1793—1841). În schimb, este importantă demonstraţia efectuată de Coulomb cu balanţa de torsiune pentru următorul fenomen : cîmpul magnetic terestru comunică acului magnetic un moment de rotaţie proporţional cu sinusul devierii de la meridian ; acest fenomen este fundamentul pentru noţiunea de moment magnetic.

Progresul determinat de legea lui Coulomb se vede din extinderea teoriei potenţialului, dezvoltată întîi pentru gravitaţie (cap. 3), pe care o datorăm lui Siméon-Denis *Poisson.* De fapt, cu legea lui Coulomb sau cu ecuaţia Laplace-Poisson, echivalentă cu această lege, şi cu cunoştinţa experimentală că potenţialul conductoarelor este constant, stăpînim întreaga electrostatică, atîta timp cît la fenomene nu participă şi dielectrici. Dezvoltarea ulterioară a teoriei potenţialului se datoreşte, în afară de *Green,* lui Carl Friedrich

Gauss, care a publicat o lucrare celebră, în 1839. Această teorie şi-a exercitat influenţa departe dincolo de domeniul ei, devenind un model pentru multe alte capitole ale fizicii matematice.

De la *Gauss* ne-a rămas definiţia amintită mai sus a cantităţii de electricitate pe baza legii lui Coulomb. Unitate a cantităţii de electricitate este, astfel, acea cantitate care respinge cu forţa de 1 dyn o cantitate egală, aşezată la o distanţă de 1 cm. Gauss a realizat prima măsurare absolută a momentului magnetic al unui magnet de oţel şi a intensităţii cîmpului magnetic terestru. Teoria matematică a acestui cîmp, dată de Gauss, constituie continuarea directă şi încheierea operei lui W. *Gilbert*. El întemeiază cu această teorie primul sistem consistent de măsură pentru electricitate şi magnetism.

Legea conservării electricităţii a fost demonstrată abia în 1843, de Michael *Faraday*. Într-o „căldare de gheaţă" izolată, conectată cu un electrometru, el a introdus o sferă de metal încărcată, atîrnată de un fir lung de mătase ; devierea indicată de electrometru dă măsura sarcinii sferei. Şi acum el arată că mărimea acestei devieri este independentă de ceea ce se mai află în căldarea de gheaţă şi de ceea ce se întîmplă acolo cu sarcina. Putem s-o transmitem, total sau parţial, altor conductoare, aceasta nu schimbă nimic. Abia dacă introducem sarcini noi în căldarea cu gheaţă se schimbă indicaţia electrometrului, acesta arătînd acum suma algebrică a sarcinilor introduse. Acest experiment, cu nimic inferior ca importanţă demonstraţiilor principiului conservării energiei, care datează din aceeaşi perioadă, nu s-a bucurat de aceeaşi preţuire, numai pentru că ideea unor fluide electrice indestruc-

tibile se încetăţenise încă dinainte şi nu mai avea nevoie să se impună.

Ştiinţa electricităţii a făcut un al doilea pas, poate şi mai bogat în consecinţe, cînd Alessandro *Volta* a ajuns la o descoperire în fizică pe baza observaţiilor asupra picioarelor de broască, prin care medicul Luigi *Galvani*[1] (1737—1798) stîrnise multă vîlvă şi-şi cîştigase numeroşi imitatori. Rar s-a întîmplat ca o observaţie nouă să fi ridicat atîtea dificultăţi în calea înţelegerii ei ; de aceea, descoperirea lui Galvani a deschis drumul spre un domeniu cu totul nebănuit.

Primele observaţii întîmplătoare ale lui *Galvani* asupra contracţiilor unor picioare de broască aninate de cîrlige metalice, în vecinătatea unor descărcări electrice cu scînteie sau înaintea unei furtuni, sînt, efectiv, prima indicaţie referitoare la oscilaţiile electrice ; piciorul de broască acţiona ca un „detector". Aceasta însă a putut să le fie de folos fizicienilor abia după 100 de ani şi mai bine. Pe atunci (în 1792), norocul lui Galvani şi experimentele sale conştiincioase i-au permis să realizeze contracţiile prin simpla atingere cu un cîrlig confecţionat din două metale. Acesta a fost primul element galvanic ; piciorul de broască era, în acelaşi timp, electrolitul şi indicatorul de curent. Însă Galvani nu şi-a dat seama despre ce este vorba ; el şi-a închipuit, poate nu *total* greşit, că are de-a face cu manifestări ale electricităţii animale, de mult cunoscută în cazul torpilei şi al altor peşti.

Şi Volta a fost de aceeaşi părere, în 1792. Însă în multele serii de experimente i s-a impus tot mai mult ideea că obiectul biologic — indiferent dacă e picior de broască sau limbă de om — joacă numai un rol

[1] Numit, în alte părţi, Aloysi.

secundar. În 1796 îl elimină cu totul şi enunţă ca fundament esenţial pentru „circulaţia" electricităţii într-un circuit conductor, că acesta trebuie să fie format din două (sau mai multe) conductoare de clasa „întîi", şi dintr-un conductor de clasa „a doua". Aceste noţiuni, ca şi aceea a curentului electric staţionar, apar pentru prima oară la Volta. În 1800, el construieşte, bazîndu-se pe această nouă descoperire, pila voltaică, acest prototip al elementelor galvanice care, în anii şi deceniile ce au urmat, s-au înmulţit ca ciupercile. A devenit celebru şi „experimentul fundamental al lui Volta", care trebuia să arate încărcarea a două metale la contactul lor. El nu rezistă criticii moderne (Emil *Warburg*); între cele două plăci metalice există întotdeauna o peliculă de apă şi observăm, în fapt, tensiunea la bornele unui element galvanic deschis. În schimb, era corectă şi fundamentală descoperirea lui Volta că, într-un circuit pur metalic, indiferent de numărul metalelor diferite din care este format, se instituie imediat un echilibru electric, care exclude orice curent. Aceasta a dus direct la stabilirea *şirului lui Volta* al tensiunii metalelor. Abia Thomas Johann *Seebeck* (1770—1831) a descoperit, în 1821, că diferenţele de temperatură în astfel de circuite generează curent (termoelectricitate).

Electroliza, în care vedem astăzi cauza apariţiei curentului galvanic, a fost descrisă în 1797, încă înaintea pilei voltaice, de Alexander v. *Humboldt* (1769—1859), — cunoscut, de altfel, numai în ştiinţele descriptive ale naturii, unde şi-a cîştigat merite foarte mari, — pe baza unui circuit cu un electrod de zinc şi unul de argint, între care se afla un strat de apă; genialul, dar fantezistul Johann Wilhelm *Ritter* a dezvoltat, în 1799, această descoperire, separînd, de

exemplu, cuprul metalic din soluţii de sulfat de cupru. El a descoperit, în 1798, coincidenţa dintre şirul lui Volta şi seria de afinităţi chimice a elementelor faţă de oxigen. Tot el şi-a dat seama de identitatea dintre electricitatea statică şi cea galvanică, utilizînd pentru electroliză descărcarea buteliilor de Leyda, şi a constatat cel dintîi că ceea ce generează curentul în elementul galvanic este transformarea chimică. În 1800, Humphry *Davy* (1778—1829) începe celebrele sale cercetări din domeniul electrolizei, care l-au condus, de exemplu în 1807, la descoperirea şi separarea galvanică a metalelor alcaline. Prin măsurarea cantitativă a produselor de descompunere, el a deschis cercetării drumul care a dus, în 1834, la legea de echivalenţă a lui Michael *Faraday* ; în 1853, la lucrările lui Johann Wilhelm *Hittorf* (1824—1914) asupra migraţiei ionilor, apoi în 1875, la descoperirea independenţei mobilităţii ionice de către Friedrich *Kohlrausch* (1840—1910) şi, în 1887, la teoria disociaţiei electrolitice a lui Svante *Arrhenius*. Această serie glorioasă şi-a găsit încununarea în 1889, în teoria forţelor electromotoare a lui Walter *Nernst*. Cu aceasta, teoria generării curentului galvanic era desăvîrşită. Fără îndoială, la început, ideea că, de exemplu, un ion de sodiu s-ar putea mişca liber într-o soluţie apoasă, fără să reacţioneze chimic cu mediul, a întîmpinat o puternică rezistenţă ; nu se cunoştea, pe atunci, deosebirea dintre atomul neutru şi ion. Însă teoria a găsit atît de multe confirmări, încît, treptat, opoziţia a fost redusă la tăcere.

Descoperirea lui Volta a iniţiat însă şi alte dezvoltări. Elementele galvanice dădeau curenţi electrici care aveau altă intensitate şi altă durată decît ceea

ce se putea obține prin descărcarea unor condensatoare etc. În 1811, de exemplu, cu ajutorul unei baterii compusă din 2 000 de elemente, *Davy* a realizat arcul voltaic, care a fost folosit ca sursă de lumină electrică pînă cînd becul cu incandescență, inventat în 1879 de Thomas Alva *Edison*, l-a scos treptat din circulație. Elementele au făcut posibilă și cercetarea acțiunii magnetice a curenților. La începutul secolului al XIX-lea au apărut numeroase presupuneri despre forțele care acționează între fluidele electrice și cele magnetice ; ele au condus, de exemplu, la căutarea unor interacțiuni între poli magnetici și pile voltaice deschise. Mai corectă era presupunerea că o descărcare electrică ar putea să devieze acul magnetic ; pornind de la această presupunere, Hans Christian *Örsted* (1777—1851) descoperă, în 1820, devierea acului magnetic de către un curent electric și stabilește apoi acțiunea orientativă corespunzătoare a unui magnet asupra unui curent mobil. Acum, mai mulți fizicieni, îndeosebi francezi, iau cu asalt acest nou domeniu, și, pînă în doi ani, fundamentele electromagnetismului sînt constituite. Întîi vin observațiile lui Dominique-François *Arago* și ale lui Joseph-Louis *Gay-Lussac* (1778—1850), că un curent înfășurat pe o bucată de fier o magnetizează ; acesta a fost primul electromagnet. În același an, André-Marie *Ampère* (1775—1836) — care nu s-a ocupat de fizică nici înaintea acestei perioade, nici după ea — a stabilit faimoasa sa regulă pentru sensul intensității cîmpului magnetic în lungul unui curent și a găsit că curenții orientați în același sens se atrag, pe cînd cei orientați în sens contrar se resping. El a arătat că un solenoid acționează ca o bară magnetizată. În același timp, Jean-Baptiste *Biot* și Félix *Savart* (1791—1841) stabilesc, pe baza rezultatelor experimen-

telor acumulate, legea referitoare la acţiunea magnetică a unui element de curent izolat, care le poartă numele. În 1821, *Faraday* realizează rotirea părţilor mobile ale unui circuit sub acţiunea unui magnet permanent, precum şi a unor magneţi sub acţiunea unor curenţi. Pe această bază, în 1822, *Ampère* stabileşte fenomenele de rotaţie la două circuite închise şi ia aceasta ca punct de plecare pentru a enunţa legea fundamentală a electrodinamicii, denumire care apare la el pentru prima dată. O importanţă deosebită şi-a cîştigat — ce-i drept, abia după un secol — explicaţia dată de el magnetismului, care nu mai recurge la două fluide magnetice, ci se bazează pe acţiunea unor curenţi moleculari ipotetici (1821—1822).

Aceste efecte magnetice ale curenţilor au furnizat o unitate de măsură pentru intensitatea curentului. Georg Simon *Ohm* a folosit aceasta, în 1826, pentru ca, delimitînd clar noţiunile de forţă electromotoare, cădere de tensiune şi intensitate a curentului, să deducă legea care-i poartă numele şi care stabileşte proporţionalitatea intensităţii curentului cu diferenţa de tensiune, factorul de proporţionalitate reprezentînd rezistenţa conductorului. Ohm a demonstrat că, la un conductor liniar, rezistenţa este proporţională cu lungimea şi invers proporţională cu secţiunea, creînd astfel fundamentul pentru noţiunea de conductivitate a corpurilor. Aceasta este una dintre cele trei constante ce caracterizează întreaga comportare a oricărei substanţe faţă de electricitate şi de magnetism. În 1847, G. R. *Kirchhoff* a putut să rezolve, pe această bază, problema derivaţiilor de curent, prin regulile care-i poartă numele.

Electrodinamica şi-a găsit o aplicaţie care a schimbat faţa lumii în telegraf, căruia *Gauss* şi Wilhelm *Weber* (1804—1891) i-au dat, în 1833, forma care utilizează numai o *singură* linie.

După 1822 intervine o pauză în dezvoltarea electromagnetismului, deşi nu fusese lămurită decît una din cele două laturi ale acestui grup de fenomene. Înfăşurînd două bobine de sîrmă pe un inel de fier, *Faraday* a descoperit, în 1831, că acţiunii magnetice a curenţilor îi corespunde o reacţie exercitată asupra curenţilor. Dacă trimitea un curent prin prima bobină, atunci, în momentul închiderii circuitului, apărea un impuls de curent în a doua bobină, iar apoi, cînd întrerupea curentul, în a doua bobină apărea un impuls de curent de sens contrar. Astfel a fost descoperită inducţia, şi, în anii ce au urmat, Faraday a explicat diversele ei forme. Indicaţiile sale destul de încîlcite asupra sensului curenţilor induşi prin mişcare au fost sintetizate, în 1833, de Heinrich Friedrich Emil *Lenz* (1804—1865), în regula care-i poartă numele. Curînd şi-au făcut apariţia maşinile de inducţie, care dădeau curent independent de elementele galvanice. Această dezvoltare a luat proporţii însă abia după 1867, cînd Werner v. *Siemens* (1816—1892) a înlocuit magneţii de oţel, folosiţi în acest scop, cu electromagneţi, alimentaţi chiar de curentul produs ; acesta este principiul dinamoelectric.

Electrodinamica permite stabilirea unui al doilea sistem de unităţi de măsură, independent de legea lui Coulomb ; de exemplu, putem defini ca unitate de intensitate curentul care circulă în două conductoare liniare lungi şi paralele, situate la distanţa de 1 cm, cînd acestea se atrag sau se resping cu o forţă de 2 dyn pe

unitatea de lungime. Dat fiind că intensitatea de curent 1 trebuie să încarce un condensator în timpul 1 cu cantitatea de electricitate 1, obţinem astfel şi pentru aceasta o unitate electromagnetică. Astfel s-a pus în mod necesar problema relaţiei cu unitatea electrostatică, definită pe baza legii lui Coulomb. Din formule se vede că raportul acestor unităţi are dimensiunea unei viteze. Valoarea sa a fost măsurată, în 1852 şi în anii următori, de Wilhelm *Weber*, care a ajuns la rezultatul surprinzător, că ea este egală cu viteza luminii, $3 \cdot 10^{10}$ cm/s. În 1868—1869, James Clerk *Maxwell* a făcut o verificare mai precisă în vederea stabilirii importanţei fundamentale a acestei constante pentru teoria electromagnetică a luminii ; ulterior, comparaţia a fost într-atîta perfecţionată, încît este considerată astăzi printre măsurătorile de precizie ale vitezei luminii.

Unităţile electrice folosite actualmente în tehnică — amperul, voltul, ohmul etc. — au fost stabilite în 1881, la un congres internaţional de la Paris, pe baza sistemului de unităţi electromagnetice. Din cauza unei lipse de perspectivă asupra dezvoltării tehnicii, au existat atunci temeri de a adopta chiar unitatea electromagnetică de curent, deoarece părea prea mare pentru practică ; de aceea, amperul a fost definit ca $^1/_{10}$ din această valoare.

În toate măsurătorile amintite pînă acum este vorba invariabil despre curenţi de conducţie în metale. Henry *Rowland* (1848—1901) a demonstrat, în 1876, că şi curenţii de convecţie ai unor sarcini statice de pe corpuri mobile exercită aceleaşi efecte.

Descoperirile electrodinamicii au pus în faţa teoriei probleme care, spre deosebire de cele precedente, nu mai puteau fi rezolvate doar cu ajutorul unor forţe

centrale dependente numai de distanţă, exercitate între puncte materiale. *Ampère* şi Franz Ernst *Neumann*, dar îndeosebi Wilhelm *Weber*, s-au ocupat de aceste probleme. Admiţînd că forţa dintre două sarcini depinde nu numai de distanţă, ci şi de viteză şi de acceleraţie, precum şi că curenţii ar fi sarcini în mişcare, legea fundamentală a lui Weber (1846) a îmbrăţişat forţele electrostatice şi cele electrodinamice, inclusiv inducţia pentru circuite închise, adică tot ce se ştia pe atunci despre electricitate. Pînă pe la 1890, această lege a jucat un rol important în ştiinţă. Dar toate aceste teorii sufereau de defectul că admiteau acţiunea la distanţă. De îndată ce s-a aflat că viteza de propagare a acţiunilor electrice este finită, teoriile au rămas fără fundament. Astăzi, ele mai arată doar cît de anevoios a fost drumul cunoaşterii în acest domeniu şi la ce transformări mari a dus în ansamblul concepţiilor fizice.

Îndrumarea spre înţelegerea corectă a fenomenelor electrice şi magnetice o datorăm lui Michael *Faraday*. El a descoperit, în 1837, influenţa dielectricului asupra proceselor electrostatice, iar în 1846 şi în anii următori, extinderea generală a proprietăţilor diamagnetice asupra tuturor substanţelor, faţă de care paramagnetismul apare ca o excepţie. Apoi, el şi-a format concepţia că efectele electrice şi cele magnetice nu trec nemijlocit de la un corp la altul, ci sînt transmise de dielectricul situat între ele, care devine astfel sediul „cîmpului" electric sau magnetic, — noţiune creată tot de el. Această concepţie s-a dezvoltat treptat, pe măsură ce Faraday înainta în experimentele sale. „Astfel se explică de ce, în publicaţii, ideile sale capătă o exprimare adecvată îndeosebi unei ştiinţe pe *cale de constituire*. În adevăr, maniera sa de a scrie se deosebeşte mult de

cea a fizicienilor care, ca Ampère, erau chemați să-și îmbrace ideile într-o formă matematică". Aceasta este părerea lui *Maxwell*[1] care, ceva mai departe, continuă: „Poate că trebuie apreciat drept o împrejurare mai fericită pentru știință că Faraday, deși era perfect familiarizat cu noțiunile de spațiu, timp și forță, nu a fost propriu-zis matematician. Astfel, el nu s-a simțit tentat să pătrundă în diferite cercetări interesante, dar pur matematice, spre care îl îndemnau descoperirile sale. De asemenea, îi era străin gîndul să-și îmbrace rezultatele în formule matematice, nici din acelea care puteau fi aprobate de matematicienii timpului, nici din acelea care puteau să le dea temei pentru atacuri. Datorită acestui fapt, el a avut răgazul să se ocupe de lucrările corespunzătoare orientării spiritului său, să pună în concordanță ideile sale cu faptele pe care le descoperise și să creeze, în vederea exprimării rezultatelor sale, un limbaj care, dacă nu era tehnic, era în schimb natural". Despre propriile sale cercetări, Maxwell adăugă: „Eu am întreprins această lucrare în mod special, cu speranța că aș putea reuși să dau ideilor și metodelor sale (ale lui Faraday) o expresie matematică".

În acest sens, Maxwell dă, într-o primă scriere din 1855—1856, matematica referitoare la noțiunea liniilor de forță, introdusă de Faraday. Analizînd în special mersul liniilor de forță magnetice în vecinătatea unui curent electric, el ajunge la cunoscuta ecuație diferențială vectorială, aplicabilă numai cîmpurilor staționare, potrivit căreia fiecare linie de curent for-

[1] Manual de electricitate și magnetism; în engleză, Cambridge 1873; în germană, de B. Weinstein, *Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus*, Berlin 1883, vol. II, p. 216.

mează un vîrtej al cîmpului magnetic. Pasul hotărîtor însă pentru tot ce urmează, contribuţia proprie a lui Maxwell, adăugarea la curentul de conducţie a curentului de deplasare, care apare în orice dielectric la o intensitate variabilă a cîmpului electric şi care dă abia împreună cu celălalt curentul total, se găseşte într-o lucrare ulterioară, din anul 1862 [1]. Menţionăm că Maxwell ajunge la aceasta cu ajutorul unui model ipotetic, cvasimecanic. Nimeni nu putea considera această deducţie drept o demonstraţie stringentă, şi Maxwell nu a introdus-o în amplul său tratat din 1873. Este însă interesant că numai pe această cale ocolită a ajuns Maxwell la faptul decisiv, deşi matematica cîmpului, dezvoltată de el, i-l punea la îndemînă, după cum putem constata astăzi. Teoria electromagnetică a luminii (cap. 4), cu alte cuvinte constatarea că există unde electromagnetice cu viteza luminii, nu era decît o consecinţă necesară ; Maxwell a formulat-o în 1865.

Transmiterea forţei prin cîmpul electromagnetic, Maxwell o atribuie tensiunilor care-i poartă numele şi care, pe deplin analoge cu tensiunile elastice analizate de *Cauchy* (cap. 2), se deosebesc de acestea numai prin faptul că nu sînt legate de deformaţii ale substanţei, ci, fiind determinate numai de cîmp, îşi pot avea sediul chiar în vid, unde nu există nici o substanţă. În cîmpul electric pur sau în cel magnetic pur există astfel, în lungul fiecărei linii de forţă, o tracţiune, iar perpendicular pe ea, o presiune de aceeaşi intensitate. Abia tensiunile maxwelliene duc ideea acţiunii din aproape în aproape pînă la desăvîrşirea ei.

[1] „Philosophical Magazine" (4)**23**, p. 12(1862) ; ecuaţia (112).

Cu aceasta, fundamentele fizice ale actualei teorii a electricității erau complete. E drept, abia în 1890, Heinrich *Hertz* dă legii inducției a lui Faraday forma unei ecuații diferențiale, în care ea apare ca un analog al sus-amintitei relații diferențiale maxwelliene, și astfel sistemul ecuațiilor lui Maxwell, în care vedem — împreună cu Hertz — esența teoriei maxwelliene, capătă acea formă simetrică de-a dreptul estetică care, dat fiind conținutul ei fizic atît de cuprinzător, ne apare aproape ca o revelație. Dar aceasta nu era totuși decît o chestiune de formă. O cunoștință fizică nouă se adaugă abia în 1884, prin teoria fluxului de energie al lui *Poynting* (cap. 8) și prin constatarea din 1900 a lui H. A. *Lorenz* și a lui Henri *Poincaré* (1854—1912), că de fluxul de energie electromagnetică este legat un impuls electromagnetic. Aceasta era doar o completare, nu o modificare a fundamentelor.

Cu toată coerența ei și deși era în deplină concordanță cu experiența, teoria lui Maxwell a fost admisă numai treptat de fizicieni. Ideile ei erau prea neobișnuite ; chiar savanți de talia unui *Helmholtz* sau *Boltzmann* au trebuit să se străduiască ani de-a rîndul pînă au înțeles-o. În 1879, Academia din Berlin a propus un premiu pentru dovada experimentală a influenței dielectricilor asupra inducției magnetice ; în 1887, H. *Hertz* a rezolvat problema, cu ajutorul unor oscilații rapide. Un rezultat al acestor considerații este și experimentul din 1888 al lui Wilhelm Conrad *Röntgen,* care trebuia să arate dacă mișcările unui dielectric polarizat electric au efectele magnetice ale unui curent, în conformitate cu ideea lui *Faraday* ; numim efectul pus în evidență de el „curent Röntgen". Descoperirea undelor electrice de către *Hertz*

(1888) a curmat toate îndoielile. El a stabilit direct — din frecvenţa oscilaţiilor şi din lungimea de undă — viteza de propagare, pe care a găsit-o egală cu cea a luminii.

Preistoria acestei descoperiri începe cu lucrarea lui *Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft* (Despre conservarea forţei, 1847, cap. 6). Întemeindu-se pe diverse observaţii asupra descărcării buteliei de Leyda şi, îndeosebi, pe independenţa căldurii Joule de orice particularităţi ale circuitului, *Helmholtz* a dedus natura oscilatorie a descărcării. Tot în legătură cu principiul energiei, William *Thomson* (lord Kelvin) a dat, în 1853, teoria matematică a acestui fapt, căreia aproape că nu avem ce să-i adăugăm astăzi. Berend Wilhelm *Feddersen* (1832—1912) a observat, în 1858—1862, aceste oscilaţii pe baza imaginii scînteii de descărcare într-o oglindă rotitoare. În 1870, Friedrich Wilhelm v. *Bezold* (1837—1907) a constatat existenţa neîndoioasă a unor oscilaţii în conductoare cu un capăt liber şi în circuite de sîrmă cu interval de scînteie. Dar abia în mîinile lui *Hertz*, aceste circuite de sîrmă au devenit un mijloc pentru cercetarea în aer liber a undelor, pentru demonstrarea polarizării, a reflexiei, a refracţiei şi a interferenţei lor, care au permis măsurarea lungimii lor de undă, deci şi a vitezei de propagare.

Undele cu care lucra *Hertz* erau puternic amortizate. Dacă astăzi putem repeta experimentele sale cu unde neamortizate, deci cu mai multă puritate, aceasta se datoreşte tehnicii, care a trebuit să parcurgă un drum anevoios pînă cînd, în 1913 şi mai tîrziu, ea a reuşit, cu ajutorul emiţătoarelor cu tuburi bazate pe reacţie (cap. 1), să producă undele neamorti-

zate de care avea nevoie pentru telegrafia fără fir şi pentru alte scopuri asemănătoare.

La fel cum după Newton a urmat o epocă de constituire matematică a mecanicii, tot astfel a început, după Maxwell, prelucrarea matematică a teoriei maxwelliene. Pentru reprezentarea cîmpurilor magnetice turbionare din jurul curenţilor staţionari se introdusese, încă în perioada precedentă, potenţialul vectorial. În 1898, Alfred-Marie *Liénard,* şi Emil *Wiechert,* în 1900, au opus acestuia şi potenţialului scalar al electrostaticii potenţialele retardate, în care viteza de propagare finită a acţiunilor electromagnetice îşi găseşte expresia cea mai pregnantă. Enumerarea tuturor cercetărilor care au lămurit din punct de vedere matematic cazurile de cîmpuri electrice alternante, importante pentru ştiinţă şi apoi imediat pentru tehnică, ar depăşi cu mult cadrul în care ne menţinem aici. În prezentarea modernă, teoria maxwelliană este o admirabilă operă de artă, de aceeaşi valoare ca şi mecanica.

Astfel, pe la începutul secolului al XX-lea, teoria electricităţii şi a magnetismului părea destul de încheiată, mai ales după ce, cu puţin înainte, atomistica introdusese ordine şi claritate în confuzia fenomenelor care se produc la descărcările în gaze rarefiate (cap. 10). Şi totuşi, în domeniul ei cel mai propriu, în conductibilitate, a apărut un fenomen nou şi surprinzător. Încă din 1835, din măsurătorile lui Heinrich Friedrich Emil *Lenz,* se ştia că rezistenţa metalelor scade atunci cînd sînt răcite, iar Heike *Kamerlingh-Onnes* (1853—1926) a măsurat această scădere pînă sub 10° K, în 1908, cînd a reuşit să pro-

ducă astfel de temperaturi prin lichefierea heliului. La metale ca aurul, argintul, cuprul, el a găsit o valoare limită sub care rezistența nu scade. Dar, în 1911, el observă, întîi la mercur, apoi la plumb, la zinc și la alte cîteva metale, o dispariție bruscă a rezistenței, de îndată ce temperatura ajunge sub un anumit punct critic, caracteristic pentru corpul respectiv. Se instaurează supraconductibilitatea ; curentul circulă fără cădere de tensiune și se menține, cum a arătat *Kamerlingh-Onnes* în 1914, într-un inel supraconductor, zile întregi, ca un curent permanent de intensitate constantă, fără nici un fel de forță electromotoare. *Kamerlingh-Onnes* mai descoperă apoi că temperatura rămînînd aceeași, supraconductibilitatea poate fi înlăturată cu ajutorul unui cîmp magnetic ; atunci legea lui Ohm reintră în drepturi. Intensitatea cîmpului pe care supraconductorul o mai suportă — „pragul" — crește cu cît temperatura scade sub punctul critic, și anume la metale pure, pînă la cîteva sute de gauss.

Cercetătorii de mai tîrziu au adăugat la lista supraconductoarelor mai multe metale pure, precum și o seamă de aliaje și de compuși chimici. W. J. *de Haas* și colaboratorii au observat apoi că pragul unui fir supraconductor pare să depindă de direcția cîmpului magnetic în raport cu axa firului. Explicația a fost dată în 1932, de M. v. *Laue* : dacă introducem un supraconductor într-un cîmp magnetic uniform, atunci acesta este deformat, pentru că liniile de forță ocolesc supraconductorul, după cum conchisese din teoria lui Maxwell încă Gabriel *Lippmann* (1845 — 1921). Faptul că liniile de forță se îngrămădesc în anumite puncte ale suprafeței determină însă o creștere a cîmpului în locurile respective ; supraconductibilitatea dispare de îndată ce, chiar numai într-un singur punct, este atinsă

valoarea pragului. W. J. *de Haas* şi colaboratorii au confirmat aceasta în anii următori, prin măsurători asupra unor supraconductoare de diferite forme.

Totuşi, supraconductorul nu este un conductor în sensul teoriei lui Maxwell, care s-ar deosebi de ceilalţi numai prin conductivitatea sa infinit mare, căci atunci un cîmp magnetic pătruns în supraconductor deasupra punctului critic ar trebui „să îngheţe" în interiorul lui la scăderea temperaturii. În 1933 însă, măsurătorile lui W. *Meissner* şi ale lui R. *Ochsenfeld* au arătat că, în acest caz, cîmpul magnetic este dezlocuit ; nu este nici o deosebire dacă întîi răcim sub punctul critic şi excităm apoi cîmpul magnetic, sau invers. Acest efect Meissner impune o completare a teoriei maxwelliene, pe baze cu totul noi.

Curentul permanent în inelul supraconductor este, fără îndoială, analogul macroscopic al curenţilor permanenţi atomici, în care încă *Ampère* întrevăzuse cauza magnetismului. El este, ca şi aceştia din urmă, un fenomen cuantic, deosebit de interesant, deoarece intensitatea lui poate să atingă valori oricît de mari.

Relaţia dintre cîmpul electromagnetic şi sarcinile lui a fost supusă unor fluctuaţii interesante în concepţia fizicienilor. După cum *Newton* şi urmaşii săi consideraseră gravitaţia drept un efect a cărui cauză sînt masele, tot astfel, la început, fiecare fizician credea că forţele electrice sînt determinate de sarcini. Cu *Faraday* şi *Maxwell* însă a fost pusă pe primul plan noţiunea de cîmp, sarcinile decăzînd la rangul unor singularităţi ale cîmpului. Relaţia s-a inversat însă apoi din nou, cînd teoria electronică a opticii şi a descărcărilor electrice i-a împins pe purtătorii atomari ai cuantelor elementare electrice pe primul

plan al intereselor. După impresia noastră, nici una dintre cele două concepţii nu este complet satisfăcătoare. Sarcinile şi cîmpul sînt indisolubil legate între ele, aşa încît nu le putem concepe decît împreună. Tocmai de aceea, ştiinţa poate să ia sarcinile ca bază pentru cunoaşterea cîmpului cu acelaşi succes cu care poate trage concluzii referitor la sarcini, pornind de la dispoziţia liniilor de forţă electrice. Acestea sînt raţionamente logice ; ele nu au nimic comun cu relaţia reală dintre cauză şi efect. Firește, acelaşi lucru este valabil pentru cîmpul gravitaţional şi pentru masele sale.

Legăturile dintre teoria electricităţii şi mecanică sînt, de asemenea, interesante. După cum am arătat, pe la 1862, *Maxwell* a încercat să-şi formeze o imagine mecanică a cîmpului magnetic. Mai tîrziu, pe măsură ce teoria sa cîştiga tot mai multă recunoaştere, mulţi au căutat să construiască, pe o cale raţională, o mecanică a eterului, ca fundament al acestei teorii. Şi pînă la un anumit punct, teoria curenţilor liniari închişi (cuasistaţionari) poate fi subsumată teoriei ciclurilor, care provine din mecanică şi a fost elaborată, îndeosebi, de *Helmholtz*. Dar aceasta nu este decît o simplă analogie matematică între două tipuri diferite de procese fizice. În orice caz, este semnificativ pentru pătrunderea reprezentărilor electrodinamice în cercuri largi, că inginerul de astăzi îşi clarifică adeseori modul de funcţionare al maşinilor mecanice pe baza unei scheme electrice corespunzătoare. Pe la 1900 a devenit treptat limpede, că o reducere generală a electrodinamicii la mecanică este însă imposibilă.

De la 1880 a apărut, încetul cu încetul, ideea inversă, de a reduce mecanica la electrodinamică. Faptul că un purtător de sarcină mobil antrenează cu sine cîmpul său magnetic şi că acesta comportă un impuls a sugerat, în mod firesc, ideea unei mase inerte electromagnetice. Şi unii au încercat să conceapă orice masă ca masă electromagnetică. În 1902, de exemplu, aceasta şi-a găsit formularea matematică în teoria lui Max *Abraham* (1875—1922) pentru impulsul electronului în mişcare, considerat ca o sferă încărcată ; calculele au dus la o expresie a masei care depinde de viteză şi formula lui Abraham a făcut mult timp concurenţă celei relativiste (cap. 2).

Fizica a părăsit şi această idee. Căci, în cele din urmă, experimentele au decis categoric în favoarea formulei relativiste ; în plus, teoria lui Abraham dădea pentru proporţionalitatea dintre energie şi masa de repaus un alt factor decît cel din legea einsteiniană a inerţiei energiei, pe care fizica nucleară (cap. 11) l-a confirmat în întregime. Lucrările lui *Abraham* şi-au păstrat însă valoarea ca o pregătire pentru dinamica relativistă.

Chiar dacă dinamica relativistă este cu totul independentă de orice reprezentare asupra naturii forţelor, deci independentă şi de electrodinamică, aceasta a jucat totuşi un rol hotărîtor în crearea dinamicii relativiste. Din experienţa a cărei sintetizare dusese la închegarea dinamicii newtoniene nu se putea ajunge la teoria relativităţii a lui Einstein ; această experienţă nu avea gradul de precizie necesar. Prin faptul că electrodinamica a impus principiul relativităţii, legat de transformarea Lorentz, ea a impus şi trecerea de la dinamica newtoniană la cea relativistă. În acest sens — pur

istoric —, dinamica actuală se bazează deci şi pe electrodinamică.

Unele cercetări mai recente asupra magnetismului depăşesc domeniul electrodinamicii pure. În timp ce teoria maxwelliană consideră magnetizarea proporţională cu intensitatea cîmpului magnetic (în concordanţă cu experienţa, la corpuri diamagnetice şi slab paramagnetice), la corpurile la care magnetismul a fost descoperit iniţial — fierul, nichelul şi cobaltul, precum şi la anumite aliaje — magnetizarea ia, o dată cu creşterea intensităţii cîmpului, o valoare de saturaţie mult superioară magnetizărilor realizabile cu alte substanţe. La substanţele dure din punct de vedere magnetic, cum ar fi cele mai multe oţeluri, magnetizarea depinde, în genere, mai puţin de intensitatea cîmpului la momentul respectiv, decît de tratamentul anterior. Altminteri nici nu ar exista magneţi permanenţi. Pentru astfel de substanţe, Emil *Warburg* (1846—1931) a descoperit, în 1880, fenomenul pe care Alfred *Ewing* (1855—1935) l-a stabilit apoi independent, în 1882, denumindu-l histereză : în cazul unui cîmp a cărui intensitate creşte de la zero, magnetizarea urmează o altă lege decît atunci cînd intensitatea cîmpului scade din nou. Prin urmare, schimbarea sensului de magnetizare este legată de producerea unui lucru, care în magnet se transformă în căldură.

Înţelegerea noastră a fost mult mai adînc influenţată de descoperirea lui Pierre *Curie* (1859—1906) : diamagnetismul este independent de temperatură ; în schimb, susceptibilitatea paramagnetică scade invers proporţional cu temperatura absolută, iar feromagnetismul se transformă, deasupra unui „punct Curie", specific pentru fiecare substanţă (pentru fier 774°C, pentru

nichel 372°C, pentru cobalt 1 149°C,) în paramagnetism normal, care scade treptat dacă temperatura creşte mai departe. Interpretarea teoretică a comportării diferite a substanţelor dia- şi paramagnetice a fost dată, în 1905, de Paul *Langevin.* În timp ce diamagnetismul este determinat de inducţia produsă de cîmpul magnetic asupra electronilor în moleculă, paramagnetismul este generat de magneţi elementari cu moment constant şi rotaţie liberă ; cîmpul are tendinţa de a-i ordona, în opoziţie cu dezordinea termică. În 1907, Pierre-Ernest *Weiss* (1865—1940) a lărgit această teorie termodinamic-statistică, extinzînd-o la feromagnetice, prin ipoteza cîmpului interior care, avînd intensitatea caracteristică pentru corp şi pentru magnetizarea lui la momentul respectiv, orientează magneţii elementari, ca şi cîmpul magnetic. Deşi această ipoteză părea arbitrară la început, *Weiss* era pe drumul cel bun ; căci, în 1927, W. *Heisenberg* a reuşit, cu ajutorul teoriei cuantelor, să reducă cîmpul interior la „spinul" electronilor de conductibilitate. Astfel, magnetismul a fost redus, ca şi electricitatea, la proprietăţi fundamentale ale particulelor elementare (vezi şi cap. 14).

De la aceste cunoştinţe pînă la exprimarea cantitativă a proprietăţilor substanţelor feromagnetice folosite în tehnică este încă, firește, un drum lung, nu pe deplin deschis. Prea multe circumstanţe intervin aici, cum ar fi : structura cristalină, tensiunile elastice şi impurităţile.

După cum a arătat P. *Debye,* în 1912, teoria magnetismului a lui *Langevin* poate fi extinsă fără dificultate la variaţia în funcţie de temperatură a susceptibilităţii electrice a unor lichide şi gaze în care moleculele au un moment electric constant ; ea scade, de asemenea, invers proporţional cu temperatura absolută.

6

SISTEMUL DE REFERINȚĂ ÎN FIZICĂ

Problema la care se referă titlul de mai sus poate fi urmărită pînă în antichitatea greacă. Ea are trei perioade : cea geometrică, pînă în secolul al XVII-lea ; cea dinamică, care, începînd cu victoria teoriei ondulatorii a luminii (aproximativ 1800), a cuprins întreaga fizică ; și perioada teoriei relativității a lui Einstein, care începe în 1905.

În perioada geometrică, problema sistemului de referință este legată direct de aceea a esenței locului și a mișcării unui corp în genere. Era limpede de la bun început că ambele noțiuni sînt lipsite de orice sens dacă nu se indică un ceva în raport cu care să fie definite. Astfel, *Aristotel* — și cu el întreaga scolastică — a considerat locul unui corp drept o configurație materială care-l cuprinde ; au existat și două concepții opuse care discutau dacă această configurație trebuie să atingă nemijlocit corpul, sau dacă sînt admisibile distanțe finite ; în aceste condiții nu puteau fi soluționate controverse ca, de exemplu, dacă o corabie ancorată în bătaia vîntului într-o apă curgătoare se mișcă, dat fiind că apa și aerul din imediata ei vecinătate se schimbă mereu, sau este în repaus, deoarece de pe mal nu se percepe nici o mișcare. Pentru fizică era mai important că, în conformitate cu această concepție, după Claudius *Ptolemaeus* (care a trăit la Alexandria în secolul al II-lea e.n.), sfera stelelor fixe, considerată cea mai periferică

din şirul de sfere ce înconjură Pămîntul, nu mai putea avea nici un loc ; în adevăr, dincolo de ea nu era nimic care să o cuprindă, nici măcar spaţiul. Şi era de-a dreptul curios că sistemul lui Ptolemeu îi atribuia totuşi o mişcare, anume rotaţia ei diurnă în jurul Pămîntului.

De la această inconsecvenţă a pornit Nicolai *Copernic* la întemeierea sistemului care îi poartă numele. Atribuind imobilitate sferei stelelor fixe şi dînd, dimpotrivă, Pămîntului o rotaţie diurnă în jurul axei sale, el nu făcea, la prima vedere, decît să amelioreze consecvenţa concepţiei tradiţionale. Părerea, atît de greu inteligibilă pentru noi, că dincolo de această sferă nu ar mai fi nimic a fost menţinută şi de Copernic. De această idee s-a eliberat abia impetuosul adversar al lui Aristotel, Giordano *Bruno* (născut în 1548), ars pe rug la Roma în 1600 pentru doctrina pluralităţii infinite a lumilor, pentru apărarea lui Copernic şi pentru alte „erezii" asemănătoare. Nici măcar Kepler nu s-a hotărît să-şi însuşească această completare îndrăzneaţă şi totuşi atît de inevitabilă a sistemului copernician.

În continuarea fundării sistemului heliocentric, *Copernic* s-a călăuzit după punctul de vedere oarecum teleologic al simplităţii naturii : „Natura nu face nimic superfluu sau zadarnic", susţineau încă vechii eleni. El considera că este mai simplu să explice mişcarea uneori retrogradă a planetelor pe bolta cerească prin mişcarea proprie a Pămîntului, adică *a unui singur* corp în jurul Soarelui, decît prin mai multe mişcări circulare compuse *ale tuturor* planetelor, pe care le imaginase în acest scop Ptolemeu. Oricît de simpatică ne-ar fi această idee, în stadiul de atunci al fizicii, nimeni nu putea să-i dea o motivare cauzală.

Şi este perfect explicabil că această cerinţă de simplitate, care apela mai mult la sentiment decît la raţiunea critică, nu a fost în stare să convingă pe mulţi dintre contemporanii şi urmaşii săi, mai ales că ideea unei omeniri aflate într-o permanentă mişcare circulară, de care însă nu-şi dă seama, nu era tocmai simplă şi, pe atunci, fără nici un temei fizic. De aceea, nu trebuie să calificăm neapărat ca frică sau spirit retrograd motivul care l-a determinat pe editorul marii opere a lui Copernic *De revolutionibus* [1] — învăţatul *Osiander* de la Nürnberg, care a supravegheat direct tipărirea ei — să prezinte sistemul copernician, în prefaţa scrisă din proprie iniţiativă, drept o simplă „ipoteză", care, fiind în bună concordanţă cu observaţiile, este ca atare justificată, dar nu şi „adevărată". De asemenea, pasiunea cu care s-au dus, imediat după aceea, luptele în jurul acestui sistem se datoreşte — şi, probabil, nu în ultimă instanţă — faptului că, în tot cursul perioadei „geometrice", nu au existat argumente fizice cauzale care să pledeze pentru sistem sau împotriva lui. Firește, la aceasta s-a adăugat că reprezentanţi ai bisericilor, ai celei catolice, ca şi ai celei protestante, cum ar fi doctorul Martin Luther, au respins mişcarea Pămîntului, ca fiind în contradicţie cu Biblia, şi nu făceau aici decît să repete acuzaţia de „nerespectare a religiei" de pe urma căreia avusese de suferit, în secolul al III-lea î.e.n., *Aristarh din Samos*, primul reprezentant al unui astfel de sistem. Este deosebit de impresionantă constatarea că, de la *Aristarh* şi pînă la *Einstein*, nimic din domeniul fizicii nu a emoţionat atîta

[1] În titlul *De revolutionibus orbium coelestium*, ultimele două cuvinte sînt adăugate de editor.

cercurile largi ale opiniei publice ca ingerința în reprezentările tradiționale despre spațiu și timp. Nici condamnarea lui *Galilei* nu era legată de cauzele geometrice pe care *Copernic* le putea invoca în favoarea sistemului său, nici de descoperirile astronomice ale lui *Galilei*, folosite de el în acest scop, ci de *Dialogurile despre cele două sisteme principale ale lumii*, care resping amănunțit, și cîteodată cu vehemență, argumentele dinamice împotriva mișcării Pămîntului.

Copernic personal nu a mai avut de suferit de pe urma luptelor în jurul sistemului său. El a reținut pînă în 1543 cartea sa, începută pe la 1507; pe patul de moarte, Copernic a izbutit, poate, să vadă tipărite unele părți ale ei. Ce-i drept, cu mult înainte, probabil pe la 1514, el a difuzat în manuscris printre prietenii săi un extras rezumativ, intitulat mai tîrziu *Commentariolus*, care a fost regăsit în 1880 la Biblioteca din Viena, după o lungă perioadă de uitare. De aici extragem următoarele propoziții :[1]

1. Pentru toate cercurile sau sferele cerești, există mai mult decît un singur punct central.

2. Centrul Pămîntului nu este centrul lumii, ci numai cel al greutății și al orbitei Lunii.

3. Toate orbitele înconjură Soarele, ca și cum acesta ar fi în centrul tuturor și, de aceea, centrul lumii este în apropierea Soarelui.

Probabil pentru a întîmpina obiecția că aspectul cerului stelelor fixe ar trebui să varieze în cursul anului, din cauza mișcării Pămîntului, urmează apoi :

[1] Citat după traducerea făcută de dr. F. Rossmann, „Naturwissenschaften" **34**, 65, 1947.

4. Raportul dintre distanța Soare-Pămînt și înălțimea cerului stelelor fixe este mai mic decît raportul dintre raza Pămîntului și distanța sa la Soare, așa încît aceasta este neglijabilă față de înălțimea cerului stelelor fixe.

5. Tot ce se observă ca mișcare pe cerul stelelor fixe nu este așa ca atare, ci se vede astfel de pe Pămînt. Așadar, în mișcarea sa diurnă, Pămîntul, împreună cu elementele legate de el, se rotește o dată în jurul polilor săi ficși. Cerul stelelor fixe rămîne însă imobil, ca cerul cel mai depărtat.

6. Tot ce se observă ca mișcare la Soare nu se produce prin acesta, ci provine de la Pămînt și de la orbita noastră, pe care ne învîrtim în jurul Soarelui, la fel cu orice altă planetă. Și astfel, Pămîntul este purtat de mișcări multiple.

7. Ceea ce apare ca mișcare retrogradă și directă la planete nu este așa ca atare, ci se observă astfel de pe Pămînt. Așadar, singură mișcarea lui este suficientă pentru explicarea atîtor fenomene diferite de pe cer.

Toate cele de mai sus ne apar clare și neechivoce. Și totuși, *Copernic* a avut încă dificultăți pentru a-și reprezenta acest sistem. Cum am putea explica altfel că el a atribuit apoi Pămîntului, în afară de mișcarea sa circulară diurnă și anuală, încă o a treia mișcare, a cărei menire era să schimbe în cursul anului poziția față de Soare a axei Pămîntului, adică să explice alternarea anotimpurilor? Era doar suficient că axa Pămîntului își păstra poziția în raport cu cerul stelelor fixe (pentru a folosi terminologia copernicană)! Această eroare amintește întrucîtva de problema con-

troversată pe vremea lui Newton, anume dacă Luna are o rotație proprie sau nu, dat fiind că noi îi vedem întotdeauna aceeași față. Cei care negau această rotație erau, pur și simplu, incapabili să se elibereze complet de punctul lor de vedere geocentric. Iar la Copernic, o anumită preferință pentru Soare pare să fi jucat un rol analog.

Oricum îi datorăm lui Copernic sistemul de referință fix, avînd originea în centrul maselor sistemului nostru solar și axele orientate spre cerul stelelor fixe, sistem la care fizica raportează orice loc și orice mișcare, dacă nu se spune altceva în această privință. Cele trei coordonate, prin care determinăm locul unui punct după geometria analitică a lui *Descartes*, sînt raportate în fizică la același sistem, dacă nu sînt definite expres în alt mod. Fără Copernic nu ar fi fost descoperite nici legile lui Kepler, nici teoria gravitației. Că motivările date de Copernic au rămas incomplete nu se poate nega ; științele nou-născute nu pot, la început, să dea explicații perfect întemeiate și creatorii lor sînt mari pentru că au reușit totuși, prin intuiție, să sesizeze adevărul.

Johannes *Kepler* a contribuit la întărirea sistemului copernician, în sensul că cele trei legi ale mișcării planetelor și calculul mai exact al observațiilor, devenit posibil grație lor, se bazează în întregime pe acest sistem și nici nu s-ar fi putut încadra în cel ptolemeic. Însă Kepler a avut prea puțină înțelegere pentru o întemeiere mai profundă a acestui sistem ; argumentele sale aproape că nu depășesc considerentele de simplitate și armonie, pe care le aruncase în balanță și *Copernic*. Kepler, care a salutat cu entuziasm descoperirile în astronomie ale contemporanului său *Galilei*, pare să nu-și fi dat seama de adevărata valoare a des-

coperirilor sale în domeniul dinamicii, cu toată importanţa lor pentru „disputa" între sistemul lui Copernic şi cel al lui Ptolemeu. Şi totuşi, adversarii lui Copernic recurseseră încă înainte la contraargumente dinamice. De exemplu, găsim la ei obiecţia că rotaţia diurnă a Pămîntului ar trebui să proiecteze departe în spaţiul cosmic toate obiectele care nu sînt fixate solidar de el, iar din cauza mişcării în jurul Soarelui, aceste obiecte ar trebui să se îndepărteze de Pămînt, rămînînd în urma lui. Aceste consideraţii au putut fi combătute cu succes abia de noua dinamică. În parte, disputa a fost rezolvată de către Galileo *Galilei*, apoi definitiv de către Isaac *Newton.*

Meritele pe care şi le-a cîştigat *Galilei* — acest luptător cu atîtea succese, atît de popular şi atît de urît pe timpul său — pentru sistemul copernician constau, în primul rînd, în marile sale descoperiri astronomice, devenite posibile graţie folosirii unui instrument nou, luneta. El a arătat, în 1610, că sateliţii lui Jupiter formează un sistem planetar copernician în mic, iar în 1611, prin stabilirea fazelor planetei Venus, el a demonstrat, într-un mod incontestabil, că ea are o orbită (aproximativ) circulară în jurul Soarelui şi că, asemenea Pămîntului şi Lunii, ea nu dă lumină proprie, ci doar reflectă lumina solară. Lumina lividă a părţilor neiradiate de Soare ale Lunii a constituit pentru el dovada că Pămîntul, privit din exterior, este luminos, la fel cu celelalte planete. În al doilea rînd, el şi-a dat limpede seama că legile mişcării nu trebuie raportate la un sistem de referinţă legat de Pămînt, ci la cel copernician. Chiar dacă, la studiul căderii libere, el vorbeşte, de cele mai multe ori, despre mişcarea faţă de Pămînt, spune mereu că aceasta este admisibil

numai ca o aproximație și că, riguros vorbind, un corp în cădere liberă se abate de la verticală, din cauza rotației Pămîntului. Și astăzi, fizica își permite, atunci cînd discută majoritatea experimentelor ei, aceeași aproximație, a cărei limitare este bine cunoscută. Și Galilei a combătut neobosit, pe baza cunoștințelor descoperite de el, argumentele dinamice împotriva lui Copernic. Prin opera lui *Newton* însă a devenit pe deplin limpede că mișcarea planetelor poate fi înțeleasă dinamic — și, în plus, complet — numai dacă luăm ca bază sistemul de referință copernician.

O altă constatare, firește pur empirică, este că și celelalte legi ale naturii, cele optice, cele electrice etc., pot fi formulate simplu în același sistem.

Astfel, problema sistemului de referință era rezolvată practic, nu însă în principiu. Pe ce *drept* fizic se bazează precăderea sistemului de referință copernician față de altele, de exemplu față de unul legat de Pămînt? *Newton*, care a intuit importanța acestei întrebări, a găsit soluția, admițînd că ar exista un timp „absolut" și un spațiu „absolut" și că acesta ar fi cel ce stabilește sistemul de referință corect. Împreună cu Ludwig *Lange* (1863—1936) [1], va trebui să recunoaștem că aceste două noțiuni nu sînt tocmai ușor de conceput și chiar întrucîtva „fantomatice"; asemenea unor strigoi, ele se mai arată și astăzi în mintea unora. De fapt, caracterul problematic al acestei idei a fost un prilej de cugetări pentru toți marii filozofi de după Newton, de exemplu pentru *Leibniz* și *Kant*. Dar abia în 1886 a fost găsit cuvîntul eliberator, și anume în scrierea lui *Lange*, *Die geschichtliche Entwicklung des*

[1] O scurtă biografie a lui Ludwig Lange a fost scrisă de M. v. Laue, „Naturwissenschaften", **35**, 193, 1948.

Bewegungsbegriffs (Evoluția istorică a noțiunii de mișcare). El spune: fizica își definește sistemul de referință după scopul pe care acesta urmează să-l satisfacă, adică după același punct de vedere care stă și la baza măsurării timpului.

Lange sintetizează rezultatul raționamentelor sale în două definiții și în două teoreme [1].

Definiția I: Se numește sistem inerțial orice sistem de coordonate care prezintă proprietatea că, în raport cu el, traiectoriile a trei puncte materiale, lansate din același punct al spațiului și sustrase apoi tuturor influențelor exterioare, rămîn toate rectilinii (ele nu trebuie să fie însă coliniare).

Teorema I: În raport cu un sistem inerțial, este rectilinie și traiectoria oricărui al patrulea punct sustras tuturor influențelor exterioare.

Definiția II: Se numește scară inerțială a timpului orice scară a timpului în raport cu care un punct material sustras tuturor influențelor exterioare parcurge pe traiectoria sa inerțială spații egale în timpuri egale.

Teorema II: În raport cu scara inerțială, orice alt punct material parcurge în timpuri egale spații egale pe traiectoria sa inerțială.

Definițiile sînt convenții între oameni, iar teoremele, propoziții empirice; abia ele dau definițiilor valoare pentru fizică. Adevărul sistemului copernician stă în valabilitatea empirică a teoremelor.

Firește, din observarea unor puncte materiale nesupuse acțiunii unor forțe nu s-a putut trage concluzia

[1] Citām după lucrarea lui Lange din „Philosophische Studien", 3, 539, 1885/86.

că sistemul copernician este inerțial. În schimb, avem o dovadă perfect valabilă în acest sens în concordanța dintre observațiile experimentale și teorie, în privința orbitelor planetare calculate pe baza mecanicii, care cuprinde principiul inerției. Am arătat în cap. 1 că pentru a ajunge la exactitate în această concordanță trebuie să introducem anumite corective în scara uzuală a timpului, care este transformată astfel în scara inerțială a timpului.

Cu Ludwig Lange, dezvoltarea căreia i-a pus bazele Copernic cu trei secole și jumătate în urmă a ajuns în fine la un anumit punct de încheiere.

Definițiile de mai sus exclud multe alte sisteme de referință imaginabile, de exemplu orice sistem care se rotește cu viteză constantă față de cel astronomic. Cum a menționat încă *Newton*, într-un astfel de sistem un corp în repaus este supus aparent unei forțe centrifuge, despre care ecuațiile de mișcare nu ne spun nimic și care nu este, în fapt, decît o altă expresie pentru tendința spre mișcarea rectilinie în raport cu un sistem inerțial. Pentru sistemul legat de Pămînt, adică pentru cel care se rotește împreună cu planeta noastră, această forță se manifestă, de exemplu, în turtirea Pămîntului. Dar și rotirea planului pendulului, în cunosoutul experiment (1851) care poartă numele lui Léon *Foucault*, dovedește în mod incontestabil rotația Pămîntului, adică neinerțialitatea unui sistem de referință solidar cu Pămîntul ; aceeași dovadă o aduce orientarea busolei giroscopice în direcția nord-sud. (În 1925, A. A. *Michelson* a făcut aceeași demonstrație cu ajutorul unui experiment de interferență optică.)

Dar pe baza dinamicii putem deduce dintr-*un* sistem inerțial și altele. Toate sistemele de referință sînt echi-

valente cu primul, dacă au în raport cu acesta o viteză de translaţie constantă. Acest lucru îl ştia bine şi *Newton* ; de asemenea, încă *Galilei* a arătat, apărînd doctrina copernicianâ împotriva unor obiecţii mecaniciste populare, că într-o încăpere închisă din interiorul unei corăbii ce se mişcă nu putem constata această mişcare prin nici un experiment mecanic. Coordonatele unui punct material într-un sistem se calculează din coordonatele sale în raport cu celălalt, cu ajutorul unei formule simple, în care datorită mişcării relative a celor două sisteme mai intervine, firește, şi timpul ; acesta rămîne netransformat şi este, în acest sens, „absolut". În două sisteme de acest gen, vitezele punctelor materiale sînt diferite, nu însă şi acceleraţiile lor ; de aceea, legea de mişcare este valabilă în ambele, în exact aceeaşi formă. Dacă ar exista numai un singur sistem inerţial, am putea prezenta acest sistem ca sistem de referinţă absolut, iar mişcarea în raport cu el, ca mişcare „absolută". Deoarece lucrurile nu stau astfel, se vorbeşte despre un principiu al relativităţii în mecanica newtoniană. Experimente mecanice — spune acest principiu — nu permit stabilirea unui sistem inerţial care să fie preferenţial faţă de altul.

Mult timp s-a presupus în mod firesc că, în schimb, alte experimente şi observaţii ar putea, poate, să ofere această posibilitate, anume toate cele la care acţiunile fizice se propagă cu viteză finită ; căci în sisteme inerţiale diferite, vitezele sînt diferite. Această idee a căpătat importanţă, îndeosebi pentru optică. Orice teorie care avea nevoie de un eter ca purtător al luminii — şi ultima dintre acestea este teoria electronică (cap. 4 şi 5) — trebuie să considere drept preferenţial sistemul de referinţă în care eterul este în repaus. Astfel se de-

fineşte un sistem de referinţă absolut. S-a admis totdeauna în mod tacit că acesta este un sistem inerţial în sensul mecanicii.

În fapt, aberaţia stelelor, descoperită în 1729 de J. *Bradley* (cap. 4), permitea explicaţia simplă că, în sistemul de referinţă astronomic, lumina se propagă în toate direcţiile cu aceeaşi viteză, măsurată de Olaus *Römer*, şi că viteza ei relativă faţă de Pămînt se obţine din aceasta, scăzînd vectorial viteza Pămîntului. Faptul, la prima vedere paradoxal, că umplerea lunetei cu apă, deci modificarea vitezei luminii în interiorul instrumentului nu influenţează aberaţia, a fost prevăzut de A. *Fresnel* şi constatat prin observaţii, în 1871, de George Biddel *Airy* (1801—1892). Teoria lui Fresnel nu mai e luată astăzi în considerare, dar ea a dus la rezultatul corect, verificat experimental de A. *Fizeau*, în 1851, pentru viteza de propagare a luminii în corpuri aflate în mişcare. Dacă raza luminoasă şi mişcarea corpului au acelaşi sens sau sînt de sens contrar, atunci se adună la viteza luminii în raport cu corpul, sau se scade din ea, nu întreaga viteză a corpului, ci numai o fracţiune a ei, care se obţine prin înmulţire cu un factor subunitar, coeficientul de antrenare al lui Fresnel. Acesta a însemnat o preţioasă piatră de încercare pentru toate teoriile de mai tîrziu ale opticii corpurilor în mişcare. Mult timp, experimentul lui Fizeau a contat ca dovadă categorică pentru existenţa unui eter, care ar pătrunde toate corpurile, fără a participa însă la mişcarea lor. Căci numai aşa putea fi interpretat acest factor subunitar. Abia teoria relativităţii avea să infirme acest argument; ea a demonstrat că adunarea sau scăderea vitezelor, considerată firească, este nejustificată în aceste condiţii. Astfel, istoria experimentului lui Fizeau este un exem-

plu instructiv, care ne arată în ce măsură elementele teoretice intervin în interpretarea oricărui experiment ; ele nu pot fi nicidecum eliminate. Şi dacă teoriile se schimbă, atunci o dovadă categorică pentru una devine uşor un argument tot atît de puternic în favoarea celei opuse.

Vechea idee a aditivităţii vitezei luminii cu viteza corpurilor şi-a găsit însă sprijin şi în altă parte ; de exemplu, în 1842, Christian *Doppler* (1803—1853) a tras din teoria ondulatorie concluzia că apropierea izvorului luminos de observator măreşte numărul de oscilaţii observate, iar creşterea distanţei îl micşorează. Acest principiu al lui Doppler a întîmpinat timp de decenii o opoziţie crîncenă, în pofida confirmărilor sale din domeniul acusticii (cap. 2). În parte, aceasta se explică prin aplicaţiile astronomice efectiv inacceptabile ale lui Doppler. Şi totuşi, el a avut dreptate într-o anumită măsură, deoarece astronomia a oferit primul cîmp pentru valorificarea principiului său. În 1860, Ernst *Mach* (1838—1916) a afirmat limpede că liniile de absorbţie din spectrele stelare trebuie să prezinte efectul Doppler, dar că, în afară de acestea, există linii de absorbţie de origine terestră, care nu prezintă acest efect. Se pare că, în această privinţă, prima observaţie i-a reuşit, în 1868, lui William *Huggins* (1824—1910). Actualmente, preciza acestor observaţii este atît de mare încît, în condiţii favorabile, putem pune în evidenţă viteze radiale de $3 \cdot 10^4$ cm/s, vitezele reale avînd valori pînă la 10^7 cm/s. În laborator, efectul Doppler a putut fi demonstrat în 1905, de Johannes *Stark*, cu raze canal, adică cu atomi luminescenţi, care capătă la descărcările electrice în gaze viteze pînă la 10^8 cm/s,

așa încît deplasările doppleriene ale liniilor spectrale apar mult mai mari decît în astronomie. În 1918, efectul a fost verificat de Quirino *Majorana* (1871—1957), cu izvoare luminoase avînd mișcări mecanice cu viteze de circa $2 \cdot 10^4$ cm/s.

Oricît ar fi de importante aberația și efectul Doppler, ele nu ne dau răspuns la întrebarea dacă există mai multe sisteme de referință justificate din punctul de vedere al opticii ; după cum arată un examen mai amănunțit, aceste efecte nici nu depind de viteza izvorului luminos, și a observatorului față de un sistem de referință, ci numai — cel puțin, în primă aproximație — de viteza lor relativă. În schimb, existența unui sistem de referință preferențial ar fi dovedită dacă o observație ar pune în evidență o influență a vitezei comune tuturor corpurilor implicate. Numai că, într-un astfel de caz, viteza aceasta ar deveni o concurentă a vitezei luminii ; totul depinde de raportul dintre acestea două, care este întotdeauna un număr mic. De aceea, observațiile de acest fel sînt dificile, chiar dacă este vorba despre un efect de ordinul întîi, care este proporțional cu acest raport, și, cu atît mai mult, despre un efect de ordinul doi, la care trebuie să luăm în considerare pătratul raportului. Nu avem speranța să putem obține în laborator viteze suficiente pentru toate corpurile ce participă la experiment. Ar fi nevoie, în acest scop, de viteza cu care Pămîntul se învîrtește în jurul Soarelui ; dar și pentru ea, raportul este de 10^{-4}. Deci, astfel de experimente încearcă să stabilească această viteză orbitală sau, cu alte cuvinte, „vîntul de eter" în raport cu Pămîntul în mișcare.

Încercările în acest sens au fost numeroase, după ce Jacques *Babinet* (1794—1872) a căutat, în 1839, să stabilească o influență exercitată de mișcarea Pămîntului

asupra fenomenelor de interferență. Toate au dat rezultate negative. Cele mai multe dintre aceste experimente operau cu efecte de ordinul întîi și nu mai puteau fi folosite pentru a decide în problema sistemului de referință, cînd, în 1895, H. A. *Lorentz* a demonstrat, pe baza teoriei electronice, că nu pot exista astfel de influențe optice sau chiar electromagnetice de ordinul întîi. Cu atît mai importante au devenit puținele experimente în care era vorba despre efecte de ordinul doi. Printre acestea, nu este nici unul atît de transparent din punct de vedere teoretic și, totodată, atît de bine realizat experimental ca cel al lui Michelson. El compară direct vitezele relative în raport cu Pămîntul ale luminii care se propagă în sensuri opuse. „Vîntul de eter" ar trebui, în caz că există, să determine diferențe între ele.

Ideea și prima ei realizare — insuficientă — au fost publicate de A. A. *Michelson*, în 1881. După ce, în 1884, H. A. *Lorentz* a arătat lipsurile ei, *Michelson* și E. W. *Morley* au repetat experimentul, în 1887, de astădată cu precizia cuvenită. În 1904, *Morley* și D. C. *Miller* au obținut un rezultat de precizie mult sporită ; ei puteau garanta că efectul observat nu reprezenta nici 1% din cel teoretic. După 1920, *Miller* a crezut că a obținut rezultate pozitive la altitudini mari ; însă acestea erau contradictorii și, în plus, au fost infirmate, în 1926, de I. R. *Kennedy*, iar în 1926—27, prin mai multe reluări ale experimentului, de către A. *Picard* și E. *Stahel*, în parte pe muntele Rigi, iar în parte cu balonul. K. K. *Illingworth*, în 1927, și G. *Joos*, în 1930, au mărit într-atîta precizia, încît un „vînt de eter" de 1—1,5 km/s nu putea trece neobservat, dacă teoria sistemului preferențial ar fi valabilă.

Teoria relativității restrînse a apărut sub influența experimentului lui Michelson și a altora asemănătoare ; cu aceasta a început o nouă epocă pentru problema sistemului de referință. Teoria postulează ca lege a naturii, existența unei infinități de sisteme inerțiale, care se mișcă prin translație cu viteze constante unele față de altele și care sînt echivalente între ele *pentru ansamblul tuturor proceselor din natură.* Însă la trecerea de la un sistem la altul nu se mai poate proceda ca în mecanica newtoniană, unde timpul nu se transformă de loc și toate distanțele materiale își păstrează valoarea ; tocmai de aceea, mecanica necesită modificările amintite în cap. 2. Pentru a exprima faptul că în *orice* sistem inerțial lumina se propagă în toate direcțiile cu aceeași viteză, cum arată experimentul lui Michelson, trebuie transformate simultan coordonatele spațiale și timpul. Această „transformare Lorentz" ne duce, de exemplu, la consecința că orice corp care se mișcă în raport cu un sistem inerțial este mai scurt după direcția mișcării decît atunci cînd e în repaus. Pentru viteze mici, această contracție este mică, de ordinul doi ; dacă însă viteza se apropie de cea a luminii, contracția devine esențială. Mai mult, dimensiunea corpului în această direcție ar trebui să scadă sub orice limită, pe măsură ce viteza lui s-ar apropia din ce în ce mai mult de viteza luminii. O altă consecință este că viteza luminii apare ca limită superioară, nu numai pentru toate vitezele corpurilor și pentru propagarea în spațiu a oricărei acțiuni fizice, ci și pentru vitezele relative ale tuturor sistemelor inerțiale. Viteza luminii depășește, astfel, cadrul opticii și al electrodinamicii, căpătînd o importanță universală pentru toate procesele naturii. Că omenirea a cunoscut-o întîi la lumină este oarecum un hazard istoric.

În fond, încă într-o lucrare din 1887, Woldemar *Voigt* (1850—1919) a stabilit că această transformare duce de la un sistem de referință justificat din punct de vedere optic la un altul tot atît de justificat. Pe la 1900, Henri *Poincaré* a comentat aceasta prin ingenioase experimente mintale. Iar în 1904, ideea aceasta a fost demonstrată de H. A. *Lorentz* care, incluzînd și electrodinamica, a dat și o mecanică modificată relativist (cap. 2). Însă punctul de vedere al tuturor acestor precursori era următorul : procesele electromagnetice și optice decurg *ca și cum* aceste transformări ar duce iar la un sistem de referință justificat. Lorentz, de exemplu, face distincție, *expressis verbis,* între timpul absolut propriu-zis, utilizabil direct într-un sistem de referință preferențial, și „timpurile locale", calculabile din acesta și din coordonatele spațiale, pentru alte sisteme de referință. Cotitura hotărîtoare, anume omiterea lui „ca și cum", a fost realizată de A. *Einstein,* în 1905. Pe baza unei înțelegeri aprofundate a măsurării spațiului și timpului, el a enunțat echivalența *deplină* a tuturor sistemelor de referință care rezultă prin această transformare dintr-un sistem justificat, deci și echivalența tuturor măsurărilor de spațiu și de timp legate de aceste sisteme. Polemica, în parte exagerată și pătimașă, împotriva teoriei relativității se explică mai ales prin lipsa unei astfel de înțelegeri din partea oponenților. Această reorientare de principiu a dus apoi pe creatorul ei la încununarea întregului edificiu al teoriei relativității, anume la legea inerției energiei (cap. 2).

Un eter luminos material este incompatibil cu teoria relativității ; el ar duce, cum am mai spus, la preferarea unui anumit sistem de referință. Cu aceasta cade și concepția lui Faraday-Maxwell asupra cîmpului

electromagnetic, ca o stare modificată în eter ; nu ne mai rămîne decît să vedem în acest cîmp o realitate fizică de sine stătătoare (în măsura în care este situat în vid).

O altă consecinţă a transformării Lorentz ne arată că un ceasornic în mişcare merge mai încet decît dacă ar fi în repaus. Ca „ceasornic" putem lua oscilaţiile periodice din interiorul atomului, care produc lumina liniilor spectrale. Ce-i drept, acest efect este mic, de ordinul doi, şi deci greu de pus în evidenţă. Totuşi, vitezele razelor canal au fost suficiente pentru a-l demonstra. Anume, la observaţii asupra deplasărilor de frecvenţă el se suprapune binecunoscutului efect Doppler ca „efect Doppler pătratic", care a fost observat efectiv, în 1938, de H. E. *Ives* şi G. R. *Stilwell*, iar în 1939, de Gerhard *Otting* (1914—1945).

Această încetinire a desfăşurării vieţii se manifestă în cel mai mare grad la mezonii care apar în radiaţia cosmică. Aceştia se dezintegrează radioactiv, cînd sînt în repaus, cu o viaţă medie de 10^{-6} s ; ei trăiesc însă de 100—1 000 de ori mai mult în radiaţia cosmică, din cauza vitezei lor mari.

Teoria relativităţii restrînse, despre care a fost vorba aici, constituie încheierea unei dezvoltări care a durat un secol. Tocmai de aceea, ea nu a mai pus cercetării experimentale probleme noi. Experimentele apărute ulterior nu erau decît îmbunătăţiri ale altora mai vechi. În măsura în care ele repetau experimentul lui Michelson le-am amintit mai sus. Am vrea să menţionăm aici experimentul electro-mecanic al lui Fr. T. *Trouton* şi H. R. *Noble* (1903), perfecţionat pînă la precizia experimentului lui Michelson de R. *Tomaschek*, în 1926. Un condensator electrostatic, suspendat astfel ca să se poată roti, ar trebui, potrivit teoriei electronice, să

execute, atunci cînd îl încărcăm, o rotație ca urmare a mișcării Pămîntului ; bineînțeles, conform teoriei relativității, el nu trebuie s-o execute. Efectul calculat este mic, de ordinul doi. Totuși, cercetătorii sus-menționați au reușit să demonstreze clar că el nu există.

Cu atît mai mult au căpătat de lucru matematicienii și fizicienii teoreticieni. Ei au fost nevoiți să adapteze la teoria relativității toate ramurile fizicii, de exemplu, teoria elasticității, hidrodinamica, termodinamica și părțile din teoria lui Maxwell care se refereau la substanță. Teoria relativității își datorește forma matematică elegantă lui Hermann *Minkowski* (1864—1909), care, cu puțin înainte de a muri, a mai introdus timpul ca o a patra coordonată avînd aceleași drepturi cu cele trei coordonate spațiale în „universul" cvadridimensional. Totuși, este vorba aici numai de un artificiu matematic foarte valoros ; zadarnic au încercat unii interpretări mai profunde. În 1911, M. v. *Laue* a publicat prima expunere de sinteză a teoriei relativității restrînse.

Cu toate succesele ei nepieritoare, teoria relativității restrînse prezintă două lacune principale. Ea cuprinde, întîi, ca întreaga știință a naturii care provine de la Copernic, un continuu spațiu-timp fizic real, adică exercitînd acțiuni — „universul", — care determină inerția tuturor corpurilor, fără să sufere însă o acțiune inversă din partea acestora ; și totuși, găsim totdeauna în natură cîte o reacțiune la orice acțiune. În al doilea rînd, ea concepe fiecare proces de mișcare ca pe o luptă între inerție și forțele care acționează asupra corpului. Aceasta este valabil și pentru gravitație. Dar aceasta prezintă următoarea particularitate : devierile de la traiectoria inerțială pe care le determină sînt ace-

leaşi pentru toate corpurile. Acest fapt fundamental, observat încă de la Galilei şi Newton, şi apoi cu precizie mereu crescîndă la oscilaţiile pendulului, confirmat cu deosebită precizie, în 1891 şi anii următori, de Roland v. *Eötvös* (1849—1919) şi, în 1917, de Pieter *Zeeman*, cu ajutorul pendulului de torsiune, se enunţă ca *lege a egalităţii masei inerte cu masa grea.* Pentru întreaga fizică mai veche, această egalitate este o anexă exterioară, înglobată în mod artificial teoriei mişcărilor planetare şi altora asemănătoare, fără a-i fi încorporată în mod organic. Pornind de la aceste puncte de vedere, Albert *Einstein* a creat treptat, începînd din 1907, teoria relativităţii generalizate.

Fie, într-un sistem inerţial K, un număr de corpuri în repaus sau în mişcare uniformă care nu se influenţează sensibil. Pentru un sistem de referinţă B, care se mişcă uniform accelerat faţă de K, această stare apare ca o cădere comună tuturor corpurilor. „Principiul echivalenţei" (1907) al lui Einstein menţine acum şi sistemul B ca fiind justificat din punct de vedere fizic, dacă ne limităm la un interval spaţial şi temporal nu prea mare ; în opoziţie cu K însă, în el apare o forţă de gravitaţie. Egalitatea acceleraţiei tuturor acestor corpuri, oricît ar fi ele de diferite, conţine atunci implicit legea egalităţii celor două mase.

Cele două sisteme de referinţă au în comun *„cîmpul de antrenare"*, care este purtătorul metricii cvadridimensionale. În acest exemplu, metrica este cea din teoria relativităţii restrînse, care consideră drept distanţă a două „puncte de univers" mărimea

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - c^2\,dt^2$$

unde x_1, x_2, x_3 sînt coordonatele spaţiale, c este viteza luminii în vid, iar t timpul. Aceste coordonate

aparţin sistemului K, iar pe cele din sistemul B le obţinem printr-o transformare de coordonate, care ne dă pentru ds o metrică, conform schemei generale:

$$ds^2 = g_{11}dx_1^2 + \cdots + 2g_{23}dx_2dx_3 + \cdots + 2g_{14}dx_1dx_4 + \cdots + g_{44}dx_4^2.$$

Între cele patru coordonate ale universului, una este reprezentanta timpului (se ia, de obicei, x_4). În raport cu K, „linia de univers" a fiecărui corp asupra căruia nu acţionează forţe este o dreaptă, iar în raport cu B, ea este o „geodezică" în metrica de mai sus. Însă şi linia de univers dreaptă este cuprinsă în noţiunea de geodezică. Căci aceste linii sînt invariante faţă de orice transformare a coordonatelor. Faptul că *orice* corp asupra căruia nu acţionează forţe — ceea ce vrea să spună aici: orice corp care cade liber — descrie o geodezică în spaţiul cvadridimensional, îi încorporează *a priori* teoriei legea identităţii celor două mase.

De asemenea, acţiunea inversă a maselor asupra cîmpului se exprimă prin faptul că coeficienţii g_{11} $g_{23}, \ldots, g_{44}$ depind de distribuţia maselor. Dependenţa este dată de *ecuaţiile einsteiniene ale cîmpului* (1915—16), ecuaţii cu derivate parţiale de ordinul doi pentru g_{ik}, care, prin aproximaţie, trec în ecuaţia Laplace-Poisson pentru potenţialul gravitaţional newtonian. O metrică euclidiană impune însă constanţa coeficienţilor g_{ik}, ceea ce, riguros vorbind, nu se realizează niciodată în domenii spaţio-temporale mai mari. De aceea, teoria trebuie să considere valabilă o geometrie neeuclidiană pentru universul cvadridimensional, deci şi pentru orice spaţiu tridimensional pe care îl cuprinde. E drept că abaterile de la geometria euclidiană sînt întotdeauna foarte mici, aşa încît, pentru majoritatea proceselor fizice, le putem neglija. Aceste abateri sînt însă ates-

tate de mişcarea periheliului lui Mercur, pe care abia teoria relativităţii generalizate a fost în stare s-o calculeze în mod direct, pe baza masei Soarelui şi a elementelor orbitei, fără a recurge la ipoteze auxiliare şi cu o uluitoare concordanţă faţă de observaţii mai vechi, adică neafectate de idei preconcepute ; o altă dovadă pentru existenţa acestor abateri este deflecţia luminii de către Soare, prevăzută de această teorie şi observată pentru prima dată, în 1919, de Arthur Stanley *Eddington* (1884—1944). În plus, din metrică şi din ecuaţiile cîmpului, rezultă cu stringenţă că liniile spectrale din lumina corpurilor cereşti mai mari trebuie să fie deplasate spre roşu faţă de liniile corespunzătoare pe Pămînt. Verificarea acestei consecinţe a dezlănţuit multe discuţii, deoarece primele verificări s-au făcut cu lumina solară, iar pe Soare există atît de multe cauze care pot determina mici deplasări spectrale, încît efectul gravitaţional căutat nu a mai putut fi izolat. Însă în cazul „piticelor albe", adică al stelelor de masă normală, dar de rază foarte mică şi deci de densitate enormă, această deplasare spre roşu se manifestă în mod incontestabil. Prima stea identificată ca pitică albă a fost satelitul lui Sirius. Acestea sînt cele trei confirmări cu adevărat clasice ale teoriei relativităţii generalizate şi ale ideii ei de a identifica între ele inerţia şi gravitaţia, precum şi pe acestea cu „cîmpul de antrenare".

Încă *Newton* s-a ocupat în *Principia* cu problema dacă rotaţia unui corp este o mişcare absolută sau — cum susţinea îndeosebi Ernst *Mach* (1836—1916) în secolul al XIX-lea — o mişcare relativă în raport cu celelalte corpuri, adică în raport cu totalitatea stelelor fixe ; dar, oare turtirea Pămîntului sau curbura suprafeţei apei într-o căldare rotitoare ar dispărea,

dacă am putea antrena în rotaţie sistemul stelelor fixe ? Răspunsul teoriei relativităţii generale este (H. *Weyl*, 1924) : toate părţile unui corp liber şi care nu se roteşte au linii de univers geodezice, pe cînd la un corp în rotaţie au geodezice numai punctele situate pe axa de rotaţie. Dat fiind că geodezicele sînt ceva absolut şi că semnificaţia lor nu se schimbă prin nici un fel de transformare de coordonate, rotaţia în raport cu cîmpul de antrenare este, în orice sistem de referinţă, o mişcare absolută, esenţial diferită de repaus. Cu totul altfel ar sta lucrurile dacă am putea roti şi cîmpul de antrenare prin co-rotirea tuturor corpurilor de care depinde acest cîmp. Numai că o astfel de stare nu s-ar mai distinge prin nimic de starea de repaus general.

Însă această idee a lui Mach, care voia să reducă inerţia unui corp în întregime la acţiunea celorlalte corpuri, a jucat un rol important în dezvoltarea teoriei relativităţii generalizate. Einstein, care încă în tinereţe a fost puternic influenţat de ideile lui Mach, şi-a dat imediat seama că ele ar putea fi realizate pentru un univers finit, şi numai pentru unul finit. De aceea, el a adăugat ecuaţiilor cîmpului un termen aditiv, de cele mai multe ori neglijabil, cuprinzînd o constantă „cosmologică", şi a reuşit, în 1917, să dea o soluţie riguroasă acestei ecuaţii diferenţiale, care înseamnă următoarele : spaţiul tridimensional, considerat în mare, este umplut uniform cu substanţă ; el este un spaţiu sferic, adică închis în sine, asemănător cu o suprafaţă sferică. După cum aceasta nu are o linie de frontieră, spaţiul nu are o suprafaţă de frontieră şi, totuşi, conţinutul său este finit. Acest pas îndrăzneţ a devenit posibil graţie introducerii prealabile a geometriei neeuclidiene, independent de aceste considerente ; căci, potrivit naturii sale, spaţiul euclidian este infinit.

Cu tot rolul său istoric mare, cosmosul einsteinian mergea pe o cale greşită. Deja în 1922, A. *Friedman* (1880—1925) şi apoi G. *Lemaître* şi H. P. *Robertson* au atras atenţia asupra unei soluţii a ecuaţiilor cîmpului, fără constantă cosmologică, care de asemenea conferă spaţiului tridimensional o curbură sferică, numai că, în opoziţie cu soluţia einsteiniană, această curbură variază în timp. Şi ceea ce părea, la început, doar posibilitate matematică s-a dovedit a fi, în 1929, realitate fizică, cînd excepţionalele instrumente ale Observatorului astronomic de pe Mount Wilson (California) i-au dat lui Edwin *Hubble* posibilitatea cercetării spectrale a sistemelor extragalactice, pînă la o distanţă de 500 milioane de ani-lumină. Pe baza unui fel de „efect Doppler" Hubble a ajuns la concluzia epocală că aceste sisteme se îndepărtează de noi în mod regulat, cu viteze proporţionale cu distanţele. Aceasta este în perfect acord cu sus-amintitul tip de soluţii ale ecuaţiilor cîmpului ; această constatare a dus la convingerea că spaţiul tridimensional al fizicii, care curprinde toate corpurile, se dilată uniform în toate direcţiile, de cîteva miliarde de ani, adică raza lui de curbură (deci şi volumul său) creşte mereu. Masa totală a materiei nu se schimbă însă. Astfel, constanta cosmologică a pierdut orice legătură cu realitatea, chiar şi după părerea lui *Einstein.*

Dar nici reducerea necesară a inerţiei la substanţa înconjurătoare pe care o presupunea *Mach,* nu a rezistat criticii matematice ; în 1917, W. *de Sitter* (1878—1934) a dat o soluţie a ecuaţiilor einsteiniene ale cîmpului, care reprezintă un cîmp neeuclidian de antrenare (adică o metrică) fără nici un fel de substanţă. Într-un astfel de cosmos, care nu este, bineînţeles, al nostru, ar exista acţiune gravitaţională, fără vreun corp care să o exercite.

Menționăm, în încheiere, că teoria relativității generalizate nu o înlătură cîtuși de puțin pe cea restrînsă, ci, dimpotrivă, arată cu rigurozitate justificarea ei pentru domenii spațio-temporale mărginite, care sînt însă, *in praxi*, atît de mari, încît mărginirea lor nu joacă nici un rol pentru cele mai multe probleme de fizică. *În principiu însă ea declară drept irelevantă orice problemă privind un anumit sistem sau anumite sisteme de referință în fizică; ea admite orice sistem de referință imaginabil* (cu restricții neînsemnate). *În schimb, ea este nevoită să caute, pentru toate legile naturii, forme „covariante" față de toate transformările celor patru coordonate, adică forme care nu se modifică prin transformări.* Enunțul, că un corp în cădere liberă descrie o linie de univers geodezică, este o astfel de formă. Dar și ecuațiile maxwelliene ale electrodinamicii s-au lăsat turnate într-o astfel de formă, iar ecuațiile einsteiniene ale cîmpului gravitațional au avut-o de la bun început.

7

FUNDAMENTELE TEORIEI CĂLDURII

Deosebirea dintre corpuri mai calde şi mai reci şi egalizarea care se produce la contactul unor corpuri diferit de calde sînt cunoscute încă de experienţa preştiinţifică. Ea ştie chiar că dacă un corp *A* este în echilibru termic cu alte două, *B* şi *C*, atunci *B* şi *C* sînt de asemenea în echilibru între ele. Această experienţă a dus, încă înaintea cercetării ştiinţifice propriu-zise, la ordonarea gradelor de căldură după o scară unidimensională, adică la crearea unei noţiuni calitative a temperaturii, noţiune cu ajutorul căreia se putea vorbi, firește, numai despre o temperatură mai ridicată sau mai scăzută, fără legătură cu conceptul de măsură şi număr. Odată cu cercetarea ştiinţifică a apărut nevoia de a măsura temperaturile cantitativ. Astfel, Galileo *Galilei*, Evangelista *Torricelli*, Otto v. *Guericke* şi mulţi alţii dintre contemporanii lor s-au străduit să construiască termometre : toţi au pus la bază dilatarea termică a unor lichide sau gaze, cum este cazul de cele mai multe ori şi astăzi. Firește, aceste prime termometre erau supuse multor influenţe perturbatoare, cum ar fi cele ale presiunii atmosferice, şi dădeau deci rezultate utilizabile doar în anumite condiţii. De asemenea, dificultăţi de ordin tehnic împiedicau concordanţa termometrelor de aceeaşi construcţie. Cel dintîi care a ştiut să înfrîngă aceste acţiuni perturbatoare şi dificultăţi, devenind astfel părintele termometriei, este Gabriel Daniel *Fahrenheit* (1686—1736), ale cărui lucrări încep, probabil, pe la 1709. Construcţia sa

este cea folosită şi astăzi la termometrele de cameră. Acesta a fost primul pas spre o ştiinţă a căldurii.

Ceea ce au dat aceste termometre a fost stabilirea unor repere fixe în scara de temperatură, adică ceva asemănător cu ceea ce a dat descoperirea liniilor Fraunhofer în spectru (vezi cap. 4). Asocierea acestor repere cu numere continua încă să fie o problemă ; ea prezintă analogie cu problema măsurării timpului, deşi noţiunea de temperatură are un caracter pur empiric. Căci, în ambele cazuri, — ca şi la spectru, — fizica are de-a face cu un continuum unidimensional, căruia trebuie să-i imprime măsură şi număr. Şi aici, firul conducător este dat numai cu scopul de a avea un sistem de măsură cît mai potrivit pentru o enunţare simplă a legilor naturii.

Dar scările de temperatură mai vechi erau toate arbitrare. Însuşi faptul că dilatarea termică era folosită pentru măsurarea temperaturii însemna un arbitrar. Există multe alte proprietăţi ale corpurilor care se oferă în acest scop ; îndeosebi pentru temperaturi înalte sau extrem de joase se foloseşte astăzi adeseori tensiunea electromotoare a unor termoelemente sau rezistenţa electrică a unui fir bolometric. Rămînînd chiar la dilatarea termică, alegerea substanţei termometrice, adică a mercurului, alcoolului sau, eventual, a unui gaz, era iarăşi arbitrară. Arbitrarul este înlăturat numai parţial, dacă se alege, în acest scop, unul dintre „gazele perfecte", a căror dilatare termică este aproape constantă, după cum au dovedit măsurătorile efectuate, în 1801, de John *Dalton* (1766—1844) şi, în 1802, de Joseph-Louis *Gay-Lussac* şi pe care, în 1842, Heinrich Gustav *Magnus* (1802—1870) şi, independent de el, Henri-Victor *Regnault* (1810—1870) le-au confirmat cu o precizie sporită ; în acest caz nici măcar nu mai avem de-a face cu o proprietate *a unui singur* corp. Este se-

cundar pentru această problemă dacă fixăm punctul zero al scării cu ajutorul unui anumit amestec frigorific, ca *Fahrenheit*, sau identic cu punctul de solidificare al apei, cum au făcut René *Réaumur* (1683—1757) şi Anders *Celsius* (1701—1744) ; de asemenea, este indiferent dacă celălalt punct fix, temperatura apei care fierbe, se notează cu numărul 212, sau 80, sau 100. Soluţia problemei a fost dată abia în 1854, de al doilea principiu al termodinamicii, de care ne vom ocupa în cap. 9. El reduce scara naturală a temperaturilor la măsurarea unor cantităţi de căldură.

Recunoaşterea cantităţii de căldură şi a temperaturii ca noţiuni distincte se datoreşte lui Joseph *Black* (1728—1799), care a efectuat astfel, imediat după 1760, al doilea pas mare în teoria căldurii. Unitatea cantităţii de căldură, caloria, se defineşte cu totul în spiritul său, drept cantitatea de căldură care încălzeşte 1 g de apă cu 1°C. Astfel, această unitate depinde, la rîndul ei, de măsurarea temperaturii, însă numai în aparenţă. Descoperirea echivalenţei dintre căldură şi energie (1842) de către J. R. v. *Mayer* ne permite să exprimăm cantitatea de căldură în măsură mecanică. Astfel, în fond, şi măsurarea temperaturii este redusă la o măsură mecanică. Instrumentul clasic pentru măsurarea cantităţilor de căldură este calorimetrul cu gheaţă, descris în 1780 de Antoine-Laurent *Lavoisier* şi de Pierre-Simon de *Laplace*. Noţiunile de căldură specifică şi de căldură latentă de fuziune şi de vaporizare fuseseră introduse mai devreme încă, în mod independent, de *Black* şi de J.C. *Wilcke*.

Să examinăm mai îndeaproape definiţia temperaturii dată de principiul al doilea. Se consideră aici un ciclu reversibil, la care un corp întîi se dilată izoterm, primind o anumită cantitate de căldură, apoi se dilată mai departe fără a primi sau a ceda căldură, apoi corpul este comprimat izoterm, cedînd căldură, şi, în sfîrşit, iarăşi comprimat fără schimb de căldură cu mediul, în aşa fel încît să revină la starea lui iniţială. Definiţia temperaturii spune: temperaturile celor două schimbări de stare izoterme stau în acelaşi raport ca şi cantităţile de căldură schimbate de corp cu exteriorul. Principiul stabileşte că acest raport este independent de natura corpului supus ciclului. Cu aceasta, măsura temperaturii este stabilită pînă la un factor de proporţionalitate. Acesta se alege în aşa fel, încît diferenţa de temperatură dintre punctul de solidificare al apei şi punctul ei de fierbere să reprezinte 100 de grade. Aceasta ne dă scara de temperatură termodinamică absolută. Măsurătorile arată că punctul de solidificare al apei se situează în această scară la temperatura de 273°. În domeniul important pentru viaţa civilă, indicaţiile termometrelor cu mercur sau alcool şi cu diviziune Celsius coincid suficient cu această scară, abstracţie făcînd de deosebirea în punctul zero.

Cele două cantităţi de căldură cu ajutorul cărora definim temperatura sînt, după cum arată experienţa, întotdeauna mărimi pozitive. Ca atare, nu există temperaturi absolute negative; această scară are un punct de zero absolut. Aceasta s-ar putea evita, luînd ca măsură a temperaturii o anumită funcţie de temperatura absolută, să zicem logaritmul ei, ceea ce ar fi foarte posibil. Nici o lege a naturii nu se opune unui asemenea

procedeu. Neadoptarea lui se explică prin acel rest de convenţie din noţiunea noastră de temperatură asupra căruia Ernst *Mach* a atras atenţia cu perfectă dreptate. Dacă adoptăm procedeul amintit, atunci scara ar merge pînă la minus infinit şi s-ar evita aparenţa că o dată ajunse, bunăoară, pînă la 1 grad absolut — de fapt s-a ajuns la temperaturi mult mai joase —, corpurile nu ar putea fi răcite mult mai mult. În realitate, după cum a stabilit, în 1906, Walter *Nernst,* punctul de zero absolut nu poate fi atins.

Deoarece, potrivit experienţei, la egalizarea temperaturilor un corp capătă o cantitate de căldură tot atît de mare ca şi cea pe care o cedează celălalt, cantitatea de căldură era considerată de *Black* şi de contemporanii săi drept o substanţă indestructibilă şi increabilă. Nici la maşina cu vapori, dezvoltată cam în 1770 de James *Watt* (1736—1819), astfel încît a devenit un factor economic revoluţionar, nimeni nu şi-a dat seama, la început, că o parte din căldura transmisă cazanului cu abur se transformă în lucru mecanic, adică dispare ca atare. Această eroare a fost de vină că geniala intuiţie a lui Sadi *Carnot* (1796—1832), după care randamentul maşinilor cu vapori este legat printr-o lege universală de trecerea căldurii de la o temperatură mai înaltă la una mai joasă, nu a dat iniţial roade. Abia după descoperirea echivalenţei dintre căldură şi energie, Rudolf Emanuel *Clausius* (1822—1888) a putut să deducă de aici principiul al doilea (cap. 9). Chiar numai aceasta ne arată clar ce cotitură a produs în fizică principiul conservării energiei.

O problemă cu totul diferită, şi deloc simplă, este: cum trebuie realizată în practică scara de temperatură

termodinamică. Procesul ciclic folosit în definiție este un experiment mintal, care cu greu ar putea fi realizat vreodată cu precizia necesară. Totuși, dezvoltarea termodinamicii ne indică mijloace și căi pentru a transforma alte scări în cea termodinamică. Nu putem intra în amănunte aci; am vrea doar să arătăm că pentru măsurarea temperaturilor înalte se folosește cu mult succes radiația termică, mai ales că este legată — prin legi simple și teoretic bine fundate — de temperatura radiatorului (cap. 13). În felul acesta reușim să cunoaștem și temperaturile stelelor fixe. Și aceasta este — nici nu mai trebuie s-o spunem — de cea mai mare importanță pentru astronomie.

Cele mai vechi mijloace pentru scăderea temperaturii erau amestecurile frigorifice și răcirea produsă de lichide volatile. Din 1830, cînd un mecanic parizian, *Thilorier*, a descoperit faza solidă a bioxidului de carbon (CO_2), se puteau obține temperaturi pînă la 173°K. M. *Faraday* a lichefiat, cu ajutorul lui, toate gazele cunoscute atunci, cu excepția oxigenului, a azotului și a hidrogenului. Cînd posibilitățile acestor metode au fost epuizate, ele au fost înlocuite prin răcirea relativ neînsemnată a unui gaz (suficient răcit în prealabil), produsă de efuziunea lui printr-o duză dintr-o incintă sub presiune înaltă într-alta sub presiune joasă. Acest efect a fost descoperit, în 1852, de James Prescot *Joule* (1818—1889) și de William *Thomson* și le poartă numele. De aici s-a dezvoltat treptat, în secolul al XIX-lea, tehnica frigului, în al cărei progres industrial Karl *Linde* (1842—1934) și-a cîștigat mari merite. Ceea ce caracterizează procedeul lui Linde este „contracu-

rentul", în care cantităţi de gaz deja destinse şi răcite produc o răcire a celor care abia urmează să se destindă. Acest procedeu poate fi repetat într-atîta, încît să ajungă sub temperatura critică şi gazul să se lichefieze parţial. Astfel, Zygmunt Florenty v. *Wroblewski* (1845—1888) şi Karol Stanislaw *Olszewski* (1846—1915) au lichefiat în 1883 cantităţi considerabile din gazele „permanente" oxigen şi azot ; în 1898, James *Dewar* (1842—1923) a reuşit să lichefieze hidrogenul, iar în 1903, E. *Rutherford* şi F. *Soddy* au realizat lichefierea emanaţiei radioactive a radiului şi a toriului ; apoi, în 1908, Heike *Kamerling-Onnes* a obţinut heliul lichid, ceea ce avea să aibă consecinţe atît de bogate (cap. 13). Astfel, a fost condensat ultimul gaz „permanent".

Dacă lăsăm unele dintre aceste lichide să fiarbă la presiune foarte mică, obţinem temperaturi considerabil mai joase decît cea de lichefiere. Cu hidrogenul ajungem astfel pînă la 10°K, iar cu heliul pînă la 0,7°K.

Pe baza noţiunilor de temperatură şi cantitate de căldură indestructibilă, Jean-Baptiste *Biot* a fundat, în 1804, teoria matematică a propagării căldurii, căreia Jean-Baptiste-Joseph *Fourier* (1768—1830) i-a dat forma definitivă, în 1807 şi în 1811. Metodele create în acest scop fac parte din mijloacele ajutătoare clasice ale fizicii matematice : aceasta este valabil, în primul rînd, pentru reprezentarea unor funcţii arbitrare prin serii sau integrale de funcţii trigonometrice. În teoria oricărui proces ondulatoriu, indiferent dacă e sunet, unde superficiale la un lichid sau oscilaţie electromagnetică, analiza Fourier în oscilaţii sinusoidale pure joacă un rol important, cu atît mai mult cu cît orice

rezonator acustic, orice aparat spectral optic realizează automat această analiză (pînă la un anumit grad). În legătură cu aceasta, matematica a creat dezvoltarea în alte sisteme de funcţii „ortogonale", care sînt astăzi deosebit de importante la rezolvarea ecuaţiei lui Schrödinger (cap. 14).

Opera lui *Fourier* este un exemplu tipic pentru un progres fundamental în matematică, determinat de cerinţele fizicii.

8

PRINCIPIUL CONSERVĂRII ENERGIEI

Sub aspect istoric, principiul conservării energiei provine din mecanică. Încă *Galilei* l-a folosit, mai puţin ca rezultat al observaţiilor decît ca intuiţie, şi anume în forma că viteza obţinută la cădere îi permite corpului să se ridice din nou pînă la înălţimea iniţială, însă nu mai sus. *Huygens* a generalizat aceasta pentru centrul de greutate al unui sistem de corpuri în cădere. În 1695, *Leibniz* i-a dat forma după care produsul dintre forţă şi drum dă creşterea de „forţă vie" *(vis viva)*. Se pare că *Newton* nu a acordat prea mare importanţă acestei noţiuni. În schimb, Johann *Bernoulli* (1667—1748) vorbeşte de repetate ori despre *conservatio virium vivarum* şi subliniază că, atunci cînd dispare forţa vie, facultatea de a efectua un lucru nu se pierde, ci doar trece în alte forme. Leonhard *Euler* ştia că, la mişcarea unui punct material sub acţiunea unei forţe centrale, forţa vie este întotdeauna aceeaşi dacă punctul atinge o anumită distanţă faţă de centrul de atracţie, iar pe la 1800, următoarea propoziţie este un bun comun al ştiinţei : într-un sistem de puncte materiale care exercită forţe centrale unul asupra altuia, forţa vie depinde numai de configuraţia punctelor şi de funcţia de forţă dependentă de aceasta. Termenul „energie" pentru forţa vie a fost introdus, în 1807, de Thomas *Young*, cel de „lucru mecanic", în 1826, de Jean-Victor *Poncelet* (1788—1867).

Astfel, era stabilită imposibilitatea de a construi un perpetuum mobile pur mecanic. Sfîrşitul secolului al XVIII-lea pare să fi ajuns la convingerea generală că aceasta nu poate reuşi prin nici un alt mijloc; cel puţin, în 1775, Academia Franceză a hotărît să nu mai primească spre discutare pretinsele soluţii ale acestei probleme. Secolul al XIX-lea a arătat ce cîştig pozitiv a putut să obţină ştiinţa din această hotărîre, care suna atît de negativ.

Primul care a pus în legătură căldura cu lucrul mecanic a fost Sadi *Carnot,* a cărui operă însă a eşuat din cauza erorii de a considera cantitatea de căldură drept o substanţă invariabilă sub aspect cantitativ (cap. 7). Abia în 1878, cînd principiul energiei era de mult recunoscut, a apărut o lucrare postumă a lui Carnot, care murise de tînăr, unde acest punct de vedere era părăsit şi unde se dădea, fără deducţie, un echivalent mecanic al căldurii, destul de corect chiar. Aceasta nu a mai influenţat însă mersul istoriei [1].

Firește, se ştia dintr-o străveche experienţă că, în cazul frecării, temperatura corpurilor frecate creşte; teoria substanţială a căldurii a încercat, prin tot felul de ipoteze despre frecare, să se împace cu aceasta. Ele au fost infirmate de Benjamin *Thompson* (ulterior conte de *Rumford,* 1753—1814), prin următorul experiment: în 1798, el a apăsat un burghiu tocit de fundul unei ţevi de tun şi, cu ajutorul unor cai, l-a făcut să se rotească; prin aceasta, au fost aduse la fierbere cantităţi apreciabile de apă, fără ca metalul să prezinte modificările căldurii specifice cerute de aceste ipoteze.

[1] Vezi M. Planck, *Das Prinzip der Erhaltung der Energie,* ed. II, Leipzig şi Berlin 1908, p. 17.

În 1799, Humphry *Davy* a demonstrat acelaşi lucru, frecînd, în maşina pneumatică, două bucăţi de metal între ele cu ajutorul unui mecanism de ceasornic. Intuiţia unei „forţe" care se manifestă, după împrejurări, ca mişcare, afinitate chimică, electricitate, lumină, căldură sau magnetism, aşa încît fiecare dintre aceste moduri de manifestare se poate transforma în celelalte, se întîlneşte de multe ori în primele decenii ale secolului al XIX-lea [1]. Mai trebuie parcurs drumul de la această intuiţie pînă la o măsură comună a acestei „forţe", pentru a o putea cuprinde într-o noţiune. Diferiţi cercetători au făcut încercări în această direcţie, fiecare în felul său.

Primul a fost Julius Robert v. *Mayer* (1814—1878), un medic care, „potrivit întregii orientări a spiritului său, prefera să generalizeze filozofic, decît să construiască empiric, bucată cu bucată" [2]. Astfel, într-o scurtă scriere din mai 1842, el aplică principiile *„ex nihilo nihil fit"* şi *„nil fit ad nihilum"* la „forţa de cădere", la mişcare şi la căldură : ceea ce rămîne de aici este indicarea destul de corectă a echivalentului mecanic al căldurii. Cum a ajuns la aceasta, aflăm abia în 1845 ; calculul său este cel curent, bazat pe diferenţa celor două călduri specifice ale gazelor perfecte, pe baza supoziţiei — neexprimată în această lucrare, dar dovedită în fapt prin măsurătorile din 1807 ale lui *Gay-Lussac* — că energia acestor gaze nu depinde de volum. În 1843, Ludwig August *Colding* (1815—1888) ajunge, prin experimente de frecare, aproape la aceeaşi valoare ; motivarea pe care o dă el legii generale a conservării ni se pare încă mai fantezistă decît aceea

[1] Vezi Max Planck, *op. cit.*, pp. 23—24.
[2] *Ibidem.*

a lui Mayer. O a doua publicație a acestuia ia în considerare acum și procese electrice și biologice ; o a treia, din 1848, întreabă de cauza căldurii solare, explică arderea meteoriților prin pierderi din energia lor cinetică în atmosferă și aplică legea de conservare la flux și reflux. După cum vedem, *Mayer* era conștient de anvergura descoperirii sale. Totuși, el nu a fost luat în seamă și și-a dobîndit abia mult mai tîrziu recunoașterea meritată.

Oricare ar fi poziția noastră față de deducția lui *Mayer*, trebuie să recunoaștem : dat fiind că menirea fizicii este să descopere legi generale ale naturii și că una dintre cele mai simple forme ale unei astfel de legi constă în a exprima invariabilitatea unei anumite mărimi fizice, căutarea unor cantități constante este o direcție de cercetare nu numai legitimă, ci și de cea mai mare importanță. De altfel, ea a fost totdeauna reprezentată în fizică. În fond, ei îi datorăm convingerea destul de veche referitoare la constanța cantității de electricitate. Desigur, decizia propriu-zisă dacă o mărime considerată ca atare este în adevăr invariabilă poate fi dată numai de experiență. La fel cu principiul conservării electricității (cap. 5), și principiul energiei este o propoziție empirică. *Mayer* a păsit efectiv pe făgașul empiric, calculînd echivalentul mecanic al căldurii. Pentru celelalte domenii ale fizicii, principiul era, din punctul lui de vedere, doar un program, a cărui realizare o lăsa pe seama altora.

În al doilea rînd, trebuie citat James Prescott *Joule* care, în 1843, a făcut o cercetare (apărută abia în 1846) despre efectele termice și chimice ale curentului electric. El a stabilit prin măsurători egalitatea cantității de căldură care se dezvoltă în circuitul exterior al unui element galvanic și care a primit ulterior, pe drept

cuvînt, numele său, cu efectul termic — cum spunem astăzi — al reacţiei chimice din elementul galvanic, dacă ea are loc fără producere de curent[1] şi că această căldură descreşte dacă curentul efectuează un lucru mecanic. Curînd după aceea, în 1845, Joule a publicat măsurători ale echivalentului mecanic al căldurii, în cadrul cărora el transformase lucrul mecanic în căldură, parte direct, parte electric, parte prin comprimarea unor gaze.

Însă cel al cărui spirit universal s-a dovedit capabil să cuprindă întreaga importanţă universală a principiului a fost Hermann v. *Helmholtz*. Ca şi Mayer, ale cărui lucrări nu le cunoştea la început şi ale cărui rezultate le-a obţinut, de aceea, independent, el a ajuns la principiul conservării, plecînd de la medicină. În 1845, a rectificat, într-o scurtă publicaţie, o eroare a celebrului chimist Justus v. *Liebig* (1803—1873), arătînd că nu putem echivala, pur şi simplu, căldura de ardere a substanţelor nutritive în corpul unui animal cu căldura de ardere a elementelor chimice din care acestea se compun ; concomitent cu aceasta, dă o scurtă privire de ansamblu asupra consecinţelor principiului pentru diversele domenii ale fizicii.

În conferinţa sa din 23.7.1847, ţinută la Societatea de fizică de la Berlin, Helmholtz a dezvoltat aceasta în mod amănunţit. El se plasa aici (spre deosebire de *Mayer*) pe poziţia explicabilităţii mecanice a tuturor proceselor naturale prin forţe centrale atractive sau repulsive, cum procedau şi cei mai mulţi dintre contemporanii săi. El vedea în aceasta o condiţie suficientă

[1] Firește, aceasta este valabil numai dacă în timpul producerii curentului elementul nu suferă schimbări de temperatură şi nu face schimb de căldură cu mediul înconjurător.

şi — greşit — necesară a imposibilităţii unui perpetuum mobile. Însă nu a făcut uz de această supoziţie în deducţiile sale, ci a obţinut diversele expresii pentru energie direct din această imposibilitate, — pentru simplul motiv că nu s-a putut realiza o reducere a tuturor proceselor la forţe mecanice. Astfel, enunţurile sale nu mai erau legate de această concepţie şi au putut să-i supravieţuiască. Nouă, în comparaţie cu cele stabilite de predecesorii săi, era pentru mecanică noţiunea de energie potenţială, apoi expresia energiei pentru gravitaţie, pentru cîmpuri electrice statice şi pentru cîmpuri magnetice; tot atît de nou era ceea ce a spus Helmholtz sub raport energetic despre producerea curentului prin elemente galvanice şi termoelectrice, precum şi despre electrodinamică, inclusiv despre fenomenele de inducţie. Astăzi, cînd calculăm energia unui cîmp gravific prin produse ale maselor şi ale potenţialelor, iar pe aceea a unui cîmp electrostatic prin produse ale sarcinii şi ale potenţialelor, ne bazăm direct pe *Helmholtz*.

Am ajunge prea departe, dacă am vrea să insistăm mai mult asupra acestei chestiuni; nu ne vom putea ocupa nici de dezvoltarea ulterioară a principiului. Mai amintim doar definiţia ultimă, dată în 1853 de William *Thomson*: „Numim energie a unui sistem material într-o stare determinată contribuţia, măsurată în unităţi de lucru, a tuturor acţiunilor produse în exteriorul sistemului, dacă acesta trece, indiferent în ce mod, din starea sa într-o stare fixată arbitrar". Legea naturii căreia îi spunem principiul conservării energiei este cuprinsă în cuvintele „indiferent în ce mod".

Consideraţiile lui Helmholtz din 1847 nu au fost întîmpinate imediat de un acord unanim; contempo-

ranii săi mai vîrstnici se temeau că în ele ar fi ascunsă o reînviere a fantasticului din filozofia hegeliană a naturii, pe care fuseseră nevoiți s-o combată atîta timp. Numai matematicianul Gustav Jakob *Jacobi*, care și-a cîștigat atîtea merite în domeniul mecanicii, a recunoscut în aceste considerații continuarea legitimă a ideilor matematicienilor francezi din secolul al XVIII-lea, care perfecționaseră mecanica. Cînd mai tîrziu, pe la 1860, principiul conservării energiei a fost unanim recunoscut, el a devenit — ce-i drept, foarte repede — o piatră de încercare pentru întreaga știință a naturii. Îndeosebi în fizică, orice teorie nouă era verificată, în primul rînd, pentru a se vedea dacă satisface principiul. Mai mult, pe la 1890, entuziasmul ajunsese la unii, cum ar fi marele fizico-chimist Wilhelm *Ostwald*, atît de departe, încît l-au transformat într-un punct central al unei concepții despre lume, „energetismul", sau, cel puțin, au încercat să deducă din el toate celelalte legi ale fizicii. Astfel, ei neglijau într-atîta, de exemplu, principiul al doilea, încît tăgăduiau deosebirea dintre procesele reversibile și cele ireversibile și puneau, de pildă, pe același plan trecerea căldurii de la o temperatură mai înaltă la una mai joasă și căderea unui corp în cîmp gravific. Max *Planck* a combătut aceasta — cu prea puțin succes — din punctul de vedere al termodinamicii ; Ludwig *Boltzmann*, care pornea de la teoria atomică și de la statistică, s-a arătat ceva mai eficient. În cele din urmă, energetismul și-a găsit sfîrșitul, ca atîtea alte erori, pe măsură ce au murit reprezentanții ei.

Noțiunea de energie a pătruns și în tehnică ; se apreciază orice mașină după bilanțul ei energetic, după gradul în care energia care îi este comunicată trece în

forma de energie dorită. Astăzi, această noțiune face parte din inventarul spiritual al oricărui om cult.

Teoria energiei nu a fost cîtuși de puțin încheiată prin recunoașterea principiului conservării, ci, dimpotrivă, a generat pînă în prezent dezvoltări mereu noi. După cum am spus, Helmholtz a calculat energia unor cîmpuri electrostatice sau magnetostatice, pornind de la sarcini și potențiale. Introducerea ideii de acțiune din aproape în aproape a lui Faraday l-a determinat pe Maxwell să localizeze spațial această energie și să atribuie fiecărui element de volum o anumită contribuție. Și J. H. *Poynting* (1852—1914) a continuat apoi această idee, în 1884, dezvoltînd pentru cîmpuri variabile, în care elementele de volum nu-și păstrează partea lor de energie, o teorie a fluxului de energie, ca și cînd energia electromagnetică ar fi o substanță. G. *Mie* (1868—1957) a arătat, în 1898, cum se poate extinde această idee la energia elastică ; de exemplu, cureaua de transmisie care leagă o mașină cu abur de o mașină-unealtă este străbătută de un flux de energie, de sens contrar mișcării curelei, iar dacă, în locul acesteia, legătura este realizată printr-un ax supus unor eforturi de torsiune, atunci energia „curge", în ax, paralel cu generatoarea sa. De aceasta este legată extinderea dată de *Planck* principiului einsteinian al inerției energiei (cap. 2 și 6) (1908) : oricărui flux de energie îi este asociat un impuls (în sensul mecanicii). Densitatea de impuls, adică impulsul raportat la unitatea de volum, se obține împărțind densitatea fluxului de energie prin pătratul vitezei luminii. În adevăr, se știe din experimentul realizat întîi (1901) de Piotr N. *Lebedev* (1866—1911) asupra presiunii pe care lumina sau orice radiație electromagnetică o exercită asupra corpurilor, că ea le comunică acestora un impuls. De altfel, re-

strînsă numai la energia electromagnetică, această lege fusese enunţată încă în 1900, de către Henri *Poincaré*, H. A. *Lorentz* şi alţii.

Conform mecanicii newtoniene există o energie cinetică ca atare ; ea se alătură aditiv oricărei alte forme de energie, ca urmare a mişcării. În teoria relativităţii, această formă de energie dispare ; în schimb, pentru energia de orice formă, mişcarea produce o creştere dată de un factor ce depinde de viteză. Această schimbare esenţială a concepţiilor noastre este strîns legată de legea inerţiei energiei ; ar fi un cerc vicios dacă am vrea, pe de o parte, să reducem o formă de energie la inerţia corpurilor, iar pe de altă parte, orice inerţie — la energie.

Mai frecvent decît în formularea de mai sus, principiul inerţiei energiei se enunţă astfel : masa unui corp este egală cu energia sa (în stare de repaus), împărţită la pătratul vitezei luminii. Astfel, legea conservării masei capătă o restricţie. Absorbţia de căldură sau de lucru mecanic, de exemplu comprimarea corpului, îi măreşte masa, cedarea de căldură sau efectuarea de lucru i-o micşorează. Reacţiile chimice, în măsura în care au loc cu degajare de căldură, micşorează masa totală a participanţilor la reacţie, ce-i drept, în orice împrejurări, cu o cantitate atît de mică, încît această scădere a masei nu poate fi pusă în evidenţă nici prin cele mai bune cîntăriri de precizie. De aceea, în această privinţă, *Landolt* (cap. 2) n-a putut să constate nici o pierdere de masă. În schimb, la transmutaţiile nucleelor atomice se eliberează cantităţi de energie care sînt mult mai mari în raport cu masele respective. Ele joacă un rol foarte important în teoria transmutaţiilor nucleare (cap. 11).

Principiul inerţiei energiei împlineşte şi o lacună pe care o mai prezenta definiţia de mai sus a energiei. Aceasta folosea drept punct de zero al energiei o stare aleasă arbitrar. Dacă însă reducem orice masă inertă la energie, atunci aceasta este definită o dată cu cealaltă, fără nici un fel de arbitrar. Pentru faptul că această reducere este conformă naturii avem un argument dintre cele mai impresionante în cazul electronilor şi al pozitronilor, pentru care s-a constatat că energia lor de repaus se poate transforma în întregime în energie radiantă (cap. 14).

Dacă facem abstracţie de maree şi de energia lor, atunci, pînă de curînd, orice energie cunoscută pe Pămînt provenea, în ultimă instanţă, de la radiaţia solară. Chiar din această cauză, problema originii energiei pe care Soarele şi stelele o radiază continuu a devenit de stringentă actualitate o dată cu recunoaşterea conservării energiei. Ideea lui R. v. *Mayer* de a o reduce la energia cinetică a meteoriţilor care cad permanent pe aceste corpuri mari s-a dovedit insuficientă la o analiză mai detaliată. În 1854, *Helmholtz* a atras atenţia asupra energiei gravitaţionale a globului nebular din care, potrivit cosmogoniei lui Kant-Laplace, Soarele şi planetele s-ar fi format prin condensare, — un proces care ar fi trebuit efectiv să transforme această energie în alte forme. Dar nici o astfel de rezervă de energie nu era suficientă pentru a alimenta radiaţia stelelor, care durează de miliarde de ani. Abia fizica nucleelor atomice (cap. 11) ne-a făcut să cunoaştem o sursă de energie destul de puternică. Temperaturile înalte din interiorul stelelor fac posibile reacţii între nucleele atomice, pe care, în laborator, le putem realiza numai cu corpuscule accelerate. În 1938/39, C. Fr. v. *Weizsäcker*

şi H. A. *Bethe* au arătat că este cel mai probabil ca rolul principal să revină, în această privinţă, sintezei unui nucleu de heliu din patru protoni şi doi electroni, şi anume nu direct, ci prin intermediul mai multor reacţii nucleare bine cunoscute.

Astăzi, omenirea este în stare, chiar dacă deocamdată numai într-o măsură mică, să folosească direct transmutaţiile nucleare ca izvor de energie, fără să mai aştepte ca ele să ne fie oferite prin radiaţia solară (cap. 11).

9

TERMODINAMICA

Termodinamica clasică, numită în trecut teoria mecanică a căldurii, se bazează pe trei principii. Cel dintîi este principiul conservării energiei (cap. 8), îndeosebi enunţul implicat în el : cantitatea de căldură este o formă a energiei şi, ca atare, măsurabilă mecanic. Tot conţinutul lui este cuprins în enunţul imposibilităţii unui perpetuum mobile.

Principiul al doilea arată că un perpetuum mobile de speţa II este o imposibilitate din punctul de vedere al legilor naturii, adică nu poate exista o maşină periodică, care să aibă ca singur efect transformarea căldurii în lucru mecanic. Dacă ar exista, atunci în mod permanent şi fără alte modificări ale corpurilor în cauză, am putea trece căldură de la temperaturi mai joase la altele mai înalte, transformînd-o la o temperatură mai joasă în lucru şi apoi — ceea ce reuşeşte întotdeauna — la o temperatură mai înaltă, iarăşi în căldură. Dar, încă S. *Carnot*, în 1824 (cap. 7), recunoscuse că o trecere necompensată de la o temperatură mai joasă la alta mai înaltă nu este realizabilă în nici un fel, chiar indirect. Eroarea sa : cantitatea de căldură considerată ca o substanţă invariabilă, fusese corectată prin principiul întîi. Astfel, s-a deschis drumul pe care, în 1850, Rudolf Emanuel *Clausius* şi, în 1854, William *Thomson* au ajuns la principiul al doilea. La fel cum principiul întîi introduce o funcţie de stare, energia, tot astfel introduce şi principiul al doilea, în

forma pe care i-a dat-o Clausius în 1865, o funcţie de stare. El a numit această nouă funcţie „entropie" ; însă în timp ce energia unui sistem perfect izolat rămîne constantă, entropia lui, compusă aditiv din entropiile părţilor componente, creşte la orice transformare. Cazul limită ideal şi atît de important pentru teorie, în care ea rămîne constantă, este, riguros vorbind, irealizabil. O scădere a entropiei însă este interzisă de legile naturii, chiar şi pentru un experiment mintal.

Astfel, toate procesele sînt împărţite în două clase. Dacă în cadrul unui proces oarecare entropia creşte, aceasta înseamnă că entropia ar scădea dacă am face, direct sau indirect, ca sistemul să parcurgă calea inversă şi să revină la starea iniţială ; procesul considerat este deci, în fapt, ireversibil. În schimb, ne putem imagina foarte bine procese reversibile, adică procese la care entropia se conservă. La un proces ciclic reversibil, adică format numai din procese parţiale reversibile, aşa cum a fost introdus, în 1834, de Benoît-Paul-Emile *Clapeyron* (1799—1864) în teoria fizicii şi cum este reprezentat cu aproximaţie de o maşină cu vapori, există două ramuri izoterme şi două ramuri adiabatice, adică parcurse fără absorbţie sau degajare de căldură. Raportul cantităţilor de căldură absorbite sau degajate pe ramurile izoterme depinde numai de temperaturile la care se situează aceste ramuri. Acest fapt este luat în considerare de definiţia temperaturii, pe care am discutat-o în capitolul 7. Diferenţa celor două cantităţi de căldură ne dă lucrul mecanic (pozitiv sau negativ) care — la parcurgerea reversibilă a ciclului — depinde şi el, raportat la una dintre cantităţile de căldură, numai de cele două temperaturi. Randamentul unei astfel de maşini depinde deci numai de temperaturile de care dispunem. La procesele ciclice reversibile, randamen-

tul este mai mic, dacă celelalte condiţii rămîn aceleaşi. Acestea sînt cîteva dintre ideile conducătoare ale începuturilor termodinamicii.

Faptul că există două funcţii caracteristice cu totul independente una de cealaltă, cum sînt energia şi entropia, permite analizei matematice să tragă multe concluzii cu privire la comportarea termică a corpurilor. Şi mai importantă s-a dovedit consecinţa că orice echilibru într-un sistem izolat trebuie să corespundă unui maxim al entropiei. De îndată ce cunoaştem funcţia de entropie pentru diferite corpuri, putem trage concluzii, pe această bază, despre echilibrul dintre ele. Astfel, încă *Clausius* a dat teoria echilibrului între diversele stări de agregare ale aceleiaşi substanţe. În varietatea aproape de necuprins a reacţiilor chimice, teoria termochimică a echilibrului a introdus ordine şi claritate, după ce, în 1873, August *Horstmann* (1842—1929) a aplicat cele două principii la un caz special de acest fel. Jacobus Hendrikus *van't Hoff* (1852—1911), Josiah Willard *Gibbs* (1839—1903) şi Max *Planck* s-au distins îndeosebi în acest domeniu, iar H. v. *Helmholtz* a intervenit în această dezvoltare în 1882. S-a reuşit astfel ca noţiunea de afinitate chimică, foarte veche, dar pînă atunci niciodată bine precizată, să fie redusă la diferenţe de energie şi de entropie ; s-a arătat astfel că ea depinde nu numai de natura substanţelor care participă la reacţie, ci şi de temperatură şi de presiune. Termodinamica a pătruns şi în teoria elasticităţii, în teoria electricităţii şi a magnetismului, dat fiind că procesele principale sînt legate, de cele mai multe ori, şi de fenomene termice. Pe scurt, nu există, propriu-zis, nici un domeniu al fizicii în care ea să nu aibă un cuvînt

de spus. Ori de cîte ori facem abstracţie de ea, înseamnă că am recurs la o idealizare.

Definiţiile energiei şi entropiei erau iniţial incomplete, deoarece ambele funcţii de stare puteau fi calculate numai pornind de la o stare iniţială aleasă arbitrar. Principiul inerţiei energiei împlineşte prima lacună. Pentru entropie, completarea o furnizează principiul al treilea, formulat printr-o intuiţie genială, în 1906, de Walter *Nernst*. În formularea pe care i-a dat-o imediat după aceea M. *Planck*, principiul arată că entropia unui corp chimic omogen tinde către zero, atunci cînd temperatura se apropie de zero absolut. *Nernst* a legat acest principiu de anumite observaţii asupra efectelor termice ale proceselor chimice şi demonstraţia sa — criticată iniţial, cu oarecare dreptate — s-a confirmat tot mai mult, pe măsură ce se acumula experienţă. Infirmările aparente prin măsurători făcute pe soluţii, cristale mixte şi sticle sînt înlăturate, dacă-i dăm principiului formularea mai exactă : la punctul zero dispar diferenţele de entropie între toate stările unui sistem care sînt în echilibru (Franz *Simon*, 1927 ; Walther *Schottky*, 1929). O consecinţă a acestui principiu este, de exemplu, dispariţia în apropiere de zero absolut a căldurii specifice şi a coeficientului de dilatare. În primul rînd, este importantă posibilitatea, bazată pe acest principiu, de a prevedea teoretic, în toate amănuntele, echilibrul chimic, numai din măsurători termice, anume din măsurarea căldurilor specifice. Numeroasele determinări de călduri specifice, pe care *Nernst* le-a efectuat, în parte personal, în parte prin alţii, mai ales la temperaturile cele mai joase care se puteau realiza şi prin metode de măsurare special concepute, au servit, în primul rînd, acestui scop. De alt-

fel, fertilitatea principiului lui Nernst este încă departe de a fi epuizată.

Cu aceasta am conturat domeniul termodinamicii clasice. Limitele ei sînt determinate de procesele esenţialmente ireversibile, foarte depărtate de echilibru, deoarece principiul al doilea nu ne dă pentru acestea o ecuaţie, ci numai o inegalitate. În calculul entropiei, fizica actuală foloseşte mult metodele statisticii, care depăşesc acest domeniu şi despre care va fi vorba în cap. 10. Tocmai aici, noţiunea de entropie, pentru care M. *Planck* a luptat de la începutul carierei sale, se dezvăluie în adevărata ei semnificaţie. În termodinamica clasică ea poate fi evitată, dacă vrem ; şi anume, pentru fiecare caz particular putem imagina un proces ciclic potrivit, repetînd astfel de fiecare dată consideraţiile generale care ne duc la noţiunea de entropie. În schimb, ea este indispensabilă pentru metodele termodinamicii statistice. Şi la descoperirea legii radiaţiei a lui Planck, această noţiune a jucat un rol important, putem spune chiar hotărîtor.

10

ATOMISTICA

Noţiunea şi denumirea de „atom" provin din antichitate. Rolul jucat de această noţiune în gîndirea lui *Democrit* (460—371 î.e.n.) şi a urmaşilor săi priveşte mai mult filozofia decît ştiinţele naturii ; în orice caz, ei nu au pus-o în legătură cu vreo observaţie. Despre imensa literatură atomistă, care străbate toate secolele pînă în 1800, nu putem da o apreciere favorabilă, cu toate că implică multe nume celebre; face excepţie numai o încercare de teorie cinetică a gazelor (1738) a lui Daniel *Bernoulli* (1700—1782) [1], dată uitării imediat după aceea. Şi ceea ce a apărut în acest gen în prima jumătate a secolului al XIX-lea justifică — după cum atestă *Helmholtz*, — pînă la un anumit grad, aversiunea faţă de toate teoriile pe care au manifestat-o, de exemplu, marele experimentator H. G. *Magnus* şi mulţi dintre contemporanii săi. Noţiunile moderne de atom şi de moleculă au fost create de chimie ; cum anume, este o chestiune care priveşte istoria *acesteia.* Fixăm aici trei dintre realizările ei, pe care fizica a putut să le preia ca atare, în preajma anului 1850 : lui John *Dalton*, îndeosebi, îi datorăm recunoaşterea faptului că atomii unui element chimic, ca şi moleculele unui compus au toate proprietăţile identice, precum şi definiţia că masa unui atom raportată la masa atomului de hidrogen se exprimă în ponderea atomică.

[1] În marea sa scriere *Hidrodinamica.*

Amedeo *Avogadro* (1776—1856) a adăugat în 1811, regula care-i poartă numele, că gazele perfecte conţin acelaşi număr de molecule la unitatea de volum, dacă temperatura şi presiunea sînt aceleaşi. Pe această bază s-au construit apoi determinările tuturor ponderilor atomice şi limbajul formulelor chimice pentru structura compuşilor.

Dacă facem abstracţie de ideea lui L. A. *Seeber* asupra structurilor cristaline (1824), pe care o vom discuta în cap. 12, atunci teoria cinetică a gazelor este prima formă a atomisticii fizicii. Echivalenţa dintre căldură şi energie era recunoscută pe la 1850, cel puţin de minţile cele mai luminate ; ea a deschis drum conceperii căldurii ca mişcare moleculară. Pe de altă parte, experimentele din 1807 ale lui Joseph-Louis *Gay-Lussac*, precum şi măsurătorile asemănătoare din 1845 ale lui J. P. *Joule* au arătat cu certitudine că energia internă a gazelor perfecte este independentă de volumul lor, ceea ce dovedea încă o dată că forţele care acţionează între moleculele lor sînt mici. Astfel, în 1856, August Karl *Krönig* (1822—1879) şi, în 1857, Rudolph Julius Emanuel *Clausius* au fost conduşi, oarecum forţat, la ideea de a atribui moleculelor de gaz mişcări rectilinii, afară de momentele scurte cînd se ciocnesc între ele sau cu pereţii vasului. Legea conservării impulsului arăta atunci imediat că presiunea gazului este proporţională cu energia cinetică medie a moleculelor şi cu numărul lor pe unitatea de volum, factorul de proporţionalitate fiind $^2/_3$; iar din legea Boyle-Mariotte-Gay-Lussac reieşea limpede că această energie este egală cu $^3/_2kT$, în care T este temperatura absolută, iar k o constantă universală, căreia i s-a dat mai tîrziu numele lui *Boltzmann*. Această cunoştinţă fundamentală nu se limitează numai la gaze şi, potrivit

actualei teorii cuantice, cunoaşte excepţii mai importante numai la temperaturi joase. Totodată, s-a putut calcula cu precizie viteza moleculelor. Ce-i drept, valoarea ei de $1{,}9 \cdot 10^5$ cm/s la hidrogen, la 300°K, era surprinzător de mare şi părea iniţial incompatibilă cu încetineala difuziei gazelor sau cu valoarea mică a conductivităţii lor termice ; căci măsurătoarea directă i-a reuşit abia lui O. *Stern*, în 1920. Însă în 1858, Clausius a arătat că pentru aceste procese nu contează atît viteza, cît parcursul liber mediu dintre două ciocniri. În 1860, James Clerk *Maxwell* a dat, pe baza unor măsurători proprii ale vîscozităţii, valori ale acestor parcursuri, care făceau inteligibilă încetineala difuziei. În aceeaşi lucrare, el a eliberat calculele din teoria gazelor de supoziţia, introdusă provizoriu, că toate moleculele ar avea aceeaşi viteză şi a enunţat legea distribuţiei vitezelor, care-i poartă numele şi a cărei demonstraţie a îmbunătăţit-o şi el, dar mai ales Ludwig Eduard *Boltzmann* (1844—1906), în 1868. Chiar dacă nu era accesibilă unei verificări experimentale — O. *Stern* a putut învinge aceste dificultăţi abia în 1932 —, ea a devenit totuşi imediat un punct de plecare pentru multe generalizări ale căror consecinţe au putut fi confirmate prin măsurători (vezi mai jos). Acest lucru i-a folosit firește şi lui *Maxwell*.

În perioada aceea s-a aflat cîte ceva şi despre mărimea şi numărul moleculelor unui gaz. Imaginînd moleculele gazelor celor mai simple sub forma unor sfere, Joseph *Loschmidt* (1821—1895) a evaluat, în 1865, diametrul lor pe baza parcursului liber mediu şi a volumului pe care îl ocupă un mol în stare lichidă. El a obţinut pentru rază ordinul de mărime corect de 10^{-8} cm, iar pentru numărul de molecule într-un mol,

10^{23}. În 1872, perfecționîndu-și teoria vîscozității, *Maxwell* a confirmat aceste cifre. Acest număr, cunoscut astăzi mult mai bine, se numește numărul lui *Loschmidt* *.

Această supoziție a unor molecule sferice și rigide stătea atunci la baza tuturor considerațiilor din domeniul teoriei gazelor, între altele și la baza demonstrațiilor pentru distribuția maxwelliană a vitezelor. Treptat însă, teoria a putut să cuprindă cazul moleculelor cu grade de libertate interne, cu rotații și oscilații ale atomilor. Ea a enunțat o lege de distribuție generalizată și a dedus de aici drept cea mai importantă consecință principiul echipartiției : energia cinetică medie a *oricărui* grad de libertate este proporțională cu temperatura absolută, cu un factor universal de proporționalitate, anume cel amintit mai sus. De aici a rezultat direct calculul căldurilor specifice ale gazelor poliatomice, în cea mai bună concordanță cu experiența**, iar aplicarea la corpul solid a explicat în mod firesc legea descoperită, în 1820, de Pierre-Louis *Dulong* (1785—1838) și de Alexis-Thérèse *Petit* (1791—1820), după care căldura specifică a solidelor raportată la un atomgram (căldură molară) are o valoare comună tuturor, anume 6 cal/grad. Mînă în mînă cu aceasta, a venit răspunsul la întrebarea cum se distribuie spațial moleculele de gaz sub acțiunea unor forțe exterioare, cum ar fi greutatea. Toate acestea

* Această denumire este uzuală numai în literatura științifică de limbă germană, în care numărul de molecule dintr-un cm^3 de gaz perfect în condiții normale poartă numele lui *Avogadro*. În toate celelalte limbi denumirile sînt inverse, adică ceea ce în literatura de limbă germană se cheamă numărul lui *Loschmidt*, este numărul lui *Avogadro*, și invers *(N. T.)*.

** În măsura în care temperatura este destul de înaltă pentru a exclude efecte cuantice.

constituiau succese fundamentale, care au influențat ulterior mai multe domenii.

Cu aceasta, teoria cinetică a gazelor era constituită în trăsăturile ei fundamentale ; nu s-a mai modificat nimic esențial, nici cînd M. *Knudsen* (1871—1949), folosind progresele tehnicii vidului, a cercetat, începînd din 1900, fenomenele speciale care se produc la o rarefiere foarte înaintată, cînd aproape nu mai au loc ciocniri între moleculele de gaz. Dintre aceste fenomene făceau parte, între altele, razele atomice sau moleculare (Louis *Dunoyer,* 1911), la care moleculele parcurg liniar drumuri de mai mulți centimetri. Aceste trăsături fundamentale s-au păstrat pînă astăzi ; importantele cercetări teoretice ale lui D. *Enskog* (1911) și ale lui S. *Chapman* (1917) asupra termodifuziei și descoperirea experimentală, din același an, a acestui efect de către S. *Chapman* și F. W. *Dootson,* ca și efectul invers respectiv, adică fenomenele termice legate de difuzia a două gaze, descoperit de către K. *Clausius* și L. *Waldmann* (1943), se încadrează perfect în principiile fundamentale stabilite de *Clausius, Maxwell* și *Boltzmann* [1].

Aceste trăsături fundamentale își au rădăcina în mecanica newtoniană. Și totuși, o dată cu teoria cinetică a gazelor a pătruns în fizică un punct de vedere nou : considerentele de probabilitate. A stabili traiectoria în zig-zag a fiecărei molecule de la o ciocnire la alta este nu numai o încercare fără perspective, dar și lipsită de valoare științifică : în schimb, interesează parcursul liber *mediu,* numărul de ciocniri *mediu* pe care o

[1] La lichide, termodifuzia a fost observată încă în 1856 de Carl *Ludwig* (1816—1895) și în 1880 de Charles *Soret* (1854—1904).

moleculă le efectuează într-o unitate de timp. Presiunea şi temperatura sînt valori medii, care se formează pentru multe molecule. Această caracteristică a teoriei nu a înţeles-o nimeni mai clar decît *Planck*, care a dezvoltat-o, dîndu-i forma ipotezei dezordinii moleculare. În aceasta vedem un avantaj al metodei lui *Boltzmann* faţă de mecanica statistică a lui Josiah Willard *Gibbs*, aplicabilă nu numai gazelor, în care, cîteodată, calculele sînt mai simple şi care duce de asemenea la principiul echipartiţiei. Astfel, *Boltzmann* a reuşit să încorporeze teoriei gazelor deosebirea dintre procese pur mecanice şi procese termice, deosebire care era ridicată adesea ca obiecţie împotriva oricărei teorii cinetice. Procesele mecanice sînt total reversibile, fiecare dintre ele poate să decurgă tot atît de bine şi în sens contrar ; nu joacă nici un rol dacă semnul timpului este pozitiv sau negativ. Procesele termice sînt funciarmente ireversibile (cap. 9), la fel ca egalizarea a două temperaturi diferite. Dacă teoria gazelor, cu toate că este fundată pe mecanică, prezintă aceste procese şi altele ca ireversibile, explicaţia trebuie căutată în intervenţia ipotezei dezordinii moleculare. Analogia cu principiul creşterii entropiei este clară. Şi astfel, încununarea muncii de o viaţă a lui Boltzmann este dependenţa, demonstrată de el din ce în ce mai clar începînd din 1877, dintre entropie şi probabilitate, una dintre cele mai profunde idei ale întregii fizici. Acest principiu al lui *Boltzmann* spune : entropia este proporţională cu logaritmul probabilităţii stării considerate, factorul de proporţionalitate fiind o constantă universală, numită astăzi constanta lui *Boltzmann*. Valoarea numerică a acestei constante a fost stabilită, după cum se ştie, abia de *Planck*, în 1900 (cap. 9). Creşterea entropiei, enunţată în principiul al doilea al termodinamicii, devine astfel o trecere la stări

mereu mai probabile. Şi deoarece starea de maximă probabilitate se învecinează cu stări a căror probabilitate nu este mult mai mică, vom găsi — şi aceasta este noutatea importantă — totdeauna abateri mici care variază în timp faţă de ea. Aceste fluctuaţii termodinamice explică mişcarea moleculară browniană, descoperită în 1827 de botanistul Robert *Brown* (1773—1858), ca pe un fenomen pur termic ; această mişcare se produce la particule microscopice sau ultramicroscopice suspendate în lichide sau în gaze, permanent, chiar cînd temperatura este perfect uniformă ; teoria ei statistică a fost dată, în 1904, de Maryan v. *Smoluchowski* (1872—1917) şi perfecţionată pînă la forma definitivă de A. *Einstein.* În acest fenomen de fluctuaţii ca şi în multe altele, avem una dintre dovezile cele mai convingătoare ale atomisticii, care i-a convertit pe mulţi sceptici.

Atomistica a pătruns în teoria electricităţii, independent de teoria gazelor. De cînd Michael *Faraday* descoperise, în 1834, legea echivalentelor electrolitice, care spune că o moleculă-gram de ioni monovalenţi, indiferent de natura lor, poartă o anumită sarcină electrică, că această sarcină este dublă în cazul ionilor bivalenţi etc., mai mulţi fizicieni au ajuns la ideea de a atribui fiecărui ion o sarcină electrică elementară sau dublul ei etc. Astfel a procedat, de exemplu, Svante *Arrhenius* în teoria disociaţiei electrolitice (1882), de care Walter *Nernst* a legat geniala sa teorie a difuziei în soluţii electrolitice şi a tensiunii electromotoare a elementelor galvanice. Tot astfel, J. *Larmor* şi H. A. *Lorentz,* în *Teoria electronică* (cap. 4), au atribuit purtătorului de sarcină electrică în materie cîte o cuantă elementară. Numele de „electron" pentru purtătorul sarcinii

elementare negative a fost introdus, abia în 1890, de Johnstone *Stoney* (1826—1911).

Deosebit de importantă a devenit atomistica pentru multiplele fenomene din cadrul descărcărilor electrice în gaze. În 1859, Julius *Plücker* (1801—1868) a descoperit razele pe care le desemnăm prin numele de „raze catodice", introdus, în 1876, de Eugen *Goldstein* (1850—1931); în 1869, Johann Wilhelm *Hittorf* descoperă devierea lor în cîmpuri magnetice şi, în sfîrşit, în 1871, Cromwell Fleetwood *Varley* (1828—1883) — sarcina lor electrică negativă. În 1876, *Goldstein* vorbeşte despre devierea lor în cîmp electric; însă nici el, nici *Varley* nu au convins pe toată lumea, aşa încît, abia în 1895, Jean *Perrin* (1870—1942) şi, în 1897, Joseph John *Thomson* (1856—1940) au rezolvat chestiunea definitiv în sensul lui Varley şi al lui Goldstein. Oricum, şi sub impresia strălucitelor experimente ale lui William *Crookes* (1832—1919) din anul 1879, s-a întărit ideea că razele catodice ar fi corpusculare, deşi Heinrich *Hertz*, în urma unei serii de experimente nereuşite din cauza tehnicii insuficiente (1883), credea că vede aci o radiaţie ondulatorie longitudinală. Contrapartea razelor catodice, razele canal, au fost descrise de *Goldstein* în 1886. În 1898, Wilhelm *Wien* a ajuns la concluzia, bazată pe măsurători de deviere, că pentru razele canal raportul dintre sarcină şi masă este de acelaşi ordin de mărime ca cel calculat din legea lui Faraday pentru ionii electrolitici. Pe de altă parte, mai mulţi cercetători, printre care — în afară de W. *Wien* şi J. J. *Thomson* — George *Fitzgerald* (1851—1901) şi Emil *Wiechert*, au măsurat, în 1897, raportul dintre sarcina şi masa particulelor din razele catodice, stabilind că este de vreo 2 000 de ori mai mare decît cel al atomilor de hidrogen. Respingîndu-se definitiv ideea

lui Hertz, s-a tras de aici concluzia : particulele din razele canal sînt atomi normali sau molecule normale, cu sarcină electrică, iar particulele din radiaţiile catodice sînt ioni cu sarcină electrică negativă, adică electroni. Dat fiind că, la sfîrşitul anului 1896, teoria efectului Zeeman, dată de *Lorentz* (cap. 4) pentru liniile spectrale ale unor emiţători încărcaţi electric din atomi a dus la aceeaşi valoare a raportului dintre sarcină şi masă, existenţa electronilor a devenit un fapt cert, după eforturi de 40 de ani. Aceasta a fost confirmat, în 1899, de E. *Wiechert,* care a măsurat direct prin oscilaţii electrice viteza razelor catodice şi a găsit concordanţă cu valorile acestui raport obţinute din experimentele de deviere.

Proprietatea cea mai curioasă a electronului era de a străbate straturi relativ groase de substanţă solidă. Acest lucru a fost observat încă în 1892 de Heinrich *Hertz,* iar în 1893, Philipp *Lenard* a lăsat să iasă electroni prin „fereastra Lenard" din tubul de descărcări în mediul înconjurător. Cercetările imediat următoare s-au ocupat de absorbţia şi de împrăştierea electronilor în materie, care nu sînt încă încheiate nici astăzi. Ele au găsit un mijloc ajutător deosebit de important în camera cu ceaţă, construită în 1913 de C. T. R. *Wilson,* care face vizibile traiectoriile în gaze ale unor particule încărcate, deci şi ale electronilor. Pentru explicarea penetrabilităţii, *Lenard* a dezvoltat, pe la 1900, teoria dinamică a corpurilor, care are multe trăsături comune cu modelul atomului lui Rutherford de mai tîrziu. Cam în acelaşi timp, şi îndeosebi sub conducerea lui J. J. *Thomson,* a fost explicată complet şi conductibilitatea electrică a gazelor ; cauza ei o formează ionii de ambele feluri, precum şi electronii liberi.

Începînd din 1897, mulţi cercetători s-au străduit să determine în mod absolut sarcina electronului, nu numai sarcina specifică, adică raportul dintre sarcină şi masa lui. Ce-i drept, ordinul de mărime era dinainte stabilit, deoarece rezulta din sarcina foarte precis cunoscută a unui mol de ioni electrolitici monovalenţi şi din numărul lui Loschmidt, cunoscut ca ordin de mărime. Dar valorile numerice obţinute pentru ea erau, la început, numai de $^2/_3$ din cea adevărată. O privire retrospectivă asupra creşterii lor treptate este astăzi deosebit de impresionantă. Dintre metodele directe pentru măsurarea sarcinii electronului considerăm astăzi drept cea mai bună pe cea indicată în 1907 de F. *Ehrenhaft*, folosită în 1913 de R. A. *Millikan* (1868—1953) şi îmbunătăţită tot de el, în 1938 : aceea a unei picături de ulei purtînd un număr mic de sarcini elementare şi plutind în cîmp electric ; ea dă $4{,}796 \cdot 10^{-10}$ unităţi electrostatice, confirmînd totodată într-un mod foarte convingător — contrar mai multor dubii — că nu există sarcini mai mici, că nu există „subelectroni". Dispunem însă şi de multe determinări indirecte, deoarece această cantitate elementară este strîns legată, pe de o parte, de numărul lui Loschmidt, iar pe de altă parte, de constanta k a lui Boltzmann. Măsurători prin interferenţa razelor Röntgen (cap. 12) dau pentru cea dintîi valoare de $6{,}0227 \cdot 10^{23}$ şi deci pentru sarcina elementară $4{,}803 \cdot 10^{-10}$ unităţi electrostatice ; diferenţa celor două măsurători ale sarcinii e mai mică de 2‰. Este interesant din punct de vedere istoric că, în 1 900, Max *Planck* (1858—1947) a calculat din legea radiaţiei şi din măsurătorile de radiaţie de atunci valoarea de $4{,}69 \cdot 10^{-10}$, mult mai mare decît determinările din timpul acela, însă, cum trebuie să recunoaştem astăzi, considerabil superioară ca precizie. Această valoare ar

mai trebui mărită, după măsurătorile de radiație mai recente, pînă la $4{,}76 \cdot 10^{-10}$, dar ea nu suportă comparația cu celelalte valori în ceea ce privește exactitatea.

Indivizibilitatea de la care atomul își trage numele există, fără îndoială, pentru transformările chimice sau și pentru ciocnirile cu alți atomi, de care se ocupă teoria cinetică a gazelor. Cercetători care vedeau lucrurile mai profund și-au pus însă adesea întrebarea dacă atomul nu este cumva compus din părți mai mici. În 1815, William *Prout* (1785—1850), avînd în vedere că ponderile atomice sînt numere întregi, s-a crezut nevoit să tragă concluzia că toți atomii sînt alcătuiți din atomi de hidrogen, care ar fi substanța lor fundamentală comună. Însă îmbunătățirea metodelor de măsurare de-a lungul secolului al XIX-lea a dat cu tot mai multă siguranță abateri foarte mari de la aceste valori întregi, ceea ce a făcut ca ipoteza lui să fie dată uitării și să cadă pradă unui somn secular. Totuși, ideea unei legături intime între toate elementele s-a impus din nou, cînd, în 1869, Dmitri Ivanovici *Mendeleev* (1834—1907) și Lothar *Meyer* (1830—1895) le-au ordonat, independent unul de altul, după comportarea lor pur chimică într-un sistem periodic. Perspectivele acestei realizări geniale s-au dezvăluit în întregime abia după 40 de ani, după ce, în 1911 Ernest (mai tîrziu lord) *Rutherford* (1871—1937) a imaginat, pentru explicarea împrăștierii razelor în substanță, modelul de atom constînd dintr-un nucleu mic, încărcat pozitiv și purtînd aproape întreaga masă a atomului, care este înconjurat de un sistem planetar de electroni. Cercetarea devierii cu unghiuri *mari* a particulelor α, efectuată (1913) de Hans *Geiger* (1881—1945) și de

E. *Marsden* şi, mai clar încă, cercetarea spectrelor Röntgen de către Henry Gwyn Jeffreys *Moseley* (1887—1915) şi alţii au arătat că locul elementelor în sistem, adică numărul lor atomic, ne dă numărul de sarcini elementare pe care le poartă nucleul. Sistemul periodic nu este decît ordinea elementelor după numărul de sarcini ale nucleului. Acest lucru l-a dedus, la începutul anului 1913, A. *van den Brock*, din consideraţii asupra radioactivităţii, deşi supoziţia sa că sarcina nucleului ar fi egală totdeauna cu jumătatea ponderii atomice este falsă. Cauzele periodicităţii (nicidecum exacte) a proprietăţilor chimice este explicată de teoria cuantelor; explicaţia amănunţită se datoreşte lui W. *Kossel* şi, în primul rînd, lui N. *Bohr* (cap. 14).

Fizica de astăzi nu mai consideră indivizibile decît puţine particule elementare. Una este electronul, alta este nucleul atomului de hidrogen, protonul, care le-a apărut cercetătorilor întîi în descărcările în gaze, de exemplu în razele canal.

Mai tîrziu, în acelaşi an 1932, Carl David *Anderson* descoperă, în camera Wilson, pozitronul, o particulă cu sarcină pozitivă şi cu masa electronului (aproximativ), iar J. *Chadwick* descoperă, în anumite procese radioactive (vezi cap. 11), neutronul, o particulă neîncărcată, avînd cam aceeaşi masă ca protonul. În radiaţia cosmică, descoperită în 1910 de Viktor Frank *Hess* şi confirmată apoi de Werner *Kohlhörster* (1887—1946), *Anderson* a descoperit, iarăşi cu ajutorul camerei Wilson, o particulă prevăzută teoretic în 1935 de Hideki *Yukawa*, un mezon, primul din marea familie a mezonilor, ale căror mase sînt cuprinse între aceea a electronului şi a protonului (de unde şi numele lor). Asemenea neutronului, a cărui dezintegrare a fost

menţionată încă în cap. 6, ei sînt cu toţii radioactivi, avînd durata de viaţă de 10^{-6} pînă la 10^{-14} secunde *. Apoi, trebuie să amintim aici neutrinul, a cărui existenţă a fost dedusă, în 1934, de Enrico *Fermi*, din diferenţele de viteză pe care le prezintă particulele β la dezintegrarea radioactivă a unei specii atomice date. Acesta nu este purtător nici de masă, nici de sarcină, trece prin orice materie fără rezistenţă şi, de aceea, nu poate fi pus în evidenţă direct. Oricum, s-au adunat de atunci atîtea indicii indirecte pentru existenţa lui, încît fizicienii înclină să creadă în el **.

Descoperirea neutronului a dus imediat la o nouă concepţie asupra constituţiei nucleelor atomice. Încă în 1932, W. *Heisenberg*, pe de o parte, iar I. *Tamm* şi D. *Ivanenko*, pe de alta, au emis ideea că acestea ar fi formate numai din protoni şi neutroni. Sarcina nucleului este determinată de numărul de protoni, care împreună cu numărul de neutroni dă masa atomului, pînă la un defect de masă relativ foarte mic (vezi mai jos). În această teorie, rezultată din observaţii de radioactivitate şi verificate de acestea, ipoteza lui Prout s-a trezit din somnul ei secular. Obiecţiile care i s-au adus cu privire la abaterile de la numerele întregi ale ponderilor atomice nu mai stau de mult în picioare.

Descoperirea izotopiei mai multor specii atomice de către F. *Soddy* (1910) conferă acestor abateri un caracter de aparenţă. Iniţial, F. *Soddy* (1877—1956) atribuie izotopia numai elementelor radioactive. Dar cu

* Între timp, lista particulelor descoperite s-a îmbogăţit cu antiprotonul, antineutronul, diverşi hiperoni (particule cu masa mai mare decît cea a protonului) şi altele *(N. T.)*.

** În ultimii ani, existenţa neutrinului a putut fi dovedită experimental prin absorbţia lui de către protoni *(N. T.)*.

timpul s-a constatat că aproape orice căsuță din sistemul periodic este ocupată de mai multe specii de atomi, nu de una singură ; ele poartă aceeași sarcină a nucleului, au deci și același număr de electroni în atom și aceeași comportare ca valență chimică, dar diferă ca masă. Ponderile atomice ale diverselor specii de atomi sînt, în fapt, foarte apropiate de numere întregi, „numerele de masă", în măsura în care nu luăm ca unitate masa atomului de hidrogen, ci raportăm masele la izotopul cel mai frecvent al oxigenului, căruia îi atribuim numărul de masă 16,00. Schimbarea nu este prea mare, deoarece hidrogenul obișnuit capătă în aceste condiții ponderea atomică 1,00813, însă este de importanță fundamentală. Chimia lucrează întotdeauna cu amestecuri de izotopi și măsoară, de aceea, numai o valoare medie, calculabilă din ponderile atomice reale și din abundențele relative ale diverselor specii de atomi. Micile abateri care mai persistă și acum între ponderile atomice și numerele de masă, legea einsteiniană a inerției energiei (cap. 2) le explică ca urmare a degajării de energie ce apare la formarea nucleelor atomice din protoni și neutroni.

Metodele chimice în accepția mai restrînsă a cuvîntului nu ne permit să distingem izotopii. Ei pot fi puși cel mai simplu în evidență, de exemplu, prin devierea magnetică și electrică a razelor canal ; dat fiind că izotopii au sarcini egale, dar mase diferite, ei descriu traiectorii diferite. Această „spectroscopie de masă" a început în 1898, cu amintitele experimente de deviere ale lui W. *Wien*. În 1913, J. J. *Thomson* a făcut senzație dovedind cu ajutorul ei izotopia a două specii de atomi radioactivi, și anume izotopii neonului cu numerele de masă 20 și 22, iar începînd din 1919, Fr. W. *Aston* a perfecționat într-atîta această metodă,

încît cunoaştem astăzi peste o mie de specii (faţă de 98 de elemente chimice *) de atomi, cei mai mulţi instabili. Numai în căsuţa 50 a sistemului periodic avem zece specii de atomi de staniu, cu numere de masă cuprinse între 112 şi 124 (valoarea medie determinată pe cale chimică este 118,7), iar în căsuţa întîi, pe lîngă hidrogenul obişnuit, avem deuteriul, de masă atomică 2,014725, descoperit de H. C. *Urey*, în 1932. Cunoaştem de atunci apa „grea" în a cărei moleculă un atom de hidrogen sau amîndoi sînt înlocuiţi prin atomi de deuteriu. Pentru a stabili ponderile atomice cu precizia dată aici şi pentru a da o bază certă concluziilor asupra degajărilor de energie la formarea nucleelor atomice din protoni şi neutroni, spectroscopia de masă a trebuit transformată într-un procedeu de mare precizie, ceea ce se datoreşte lui A. J. *Dempster* şi îndeosebi lui J. *Mattauch.*

Convingerea că nu numai atomii, recunoscuţi drept configuraţii destul de complexe, ci şi particulele elementare posedă realitatea deplină a altor lucruri din lumea exterioară este acceptată unanim de fizicienii de astăzi. Dar această situaţie este recentă. Îndoielile s-au menţinut pînă în secolul al XX-lea. Ludwig *Boltzmann*, de exemplu, a avut de suferit pînă la sfîrşitul vieţii sale din cauză că unii considerau teoria sa cinetică a gazelor drept o metodă de explicaţie inferioară din punctul de vedere al fizicii. Schimbarea produsă de atunci se bazează pe unele cunoştinţe noi. Fluctuaţiile termodinamice au mai fost amintite ca una dintre cauzele acestei schimbări de orientare. Mai

* Astăzi se cunosc 103 elemente chimice *(N. T.).*

putem aminti şi multe altele, de exemplu reuşita trecerii lui *van't Hoff* de la reprezentarea plană a formulelor chimice la stereochimie, sau faptul că la interferenţa razelor Röntgen se atribuie realitate undelor împrăştiate de fiecare atom, ajungîndu-se astfel la o teorie a acestui fenomen (cap. 12), care corespunde faptelor experimentale. Probabil însă că abia camera Wilson, care arată simţurilor traiectoriile unor atomi sau unor particule elementare izolate purtătoare de sarcină, este cea care a pus capăt tuturor îndoielilor. Oricum ar fi, secolul al XX-lea a adus cu sine victoria completă a atomisticii.

Şi totuşi, trebuie să revizuim esenţial reprezentările noastre asupra substanţei, atunci cînd este vorba despre particulele elementare. Această teorie conţinea ideea increabilităţii şi a indestructibilităţii, ea considera fiecare particulă elementară drept un individ care, în toate transformările sale, rămîne totuşi el însuşi — dacă nu efectiv în experiment, cel puţin în idee — şi care poate fi oricînd identificat. Această idee nu mai corespunde faptelor, cel puţin pentru electron şi pozitron. După cum s-a stabilit în cercetările din 1933/34 care au urmat descoperirii pozitronului, de exemplu cele ale lui P. M. S. *Blackett* şi G. P. S. *Occhialini*, o cuantă de radiaţie γ destul de energică, care se ciocneşte cu un nucleu atomic, se poate transforma într-un electron şi un pozitron. Şi invers : întîlnirea dintre electroni şi pozitroni poate duce la anihilarea lor mutuală, generînd două cuante de radiaţie γ (Otto *Klemperer*, 1934 ; Th. *Heiting*, 1933). În acest caz, masa lor totală, nu numai cea de repaus, ci şi masa mărită prin mişcare, se transformă în energie radiantă *, potrivit legii ein-

* Mai precis : se transformă în masă a energiei radiante *(N. T.)*.

steiniene a inerţiei energiei ; Jesse *DuMond* a măsurat, în 1949, cu un spectrometru cu cristal, lungimea de undă a acestei „radiaţii de anihilare" şi a obţinut valoarea de $2{,}43 \cdot 10^{-10}$ cm, în concordanţă cu calculul teoretic. Acest rezultat al fizicii moderne, perfect asigurat în toate consecinţele sale, face parte dintre lucrurile cele mai impresionante pe care ştiinţa naturii le-a produs vreodată.

11

FIZICA NUCLEARĂ

Cu greu am putea găsi ceva care să fi contribuit atît la schimbarea concepţiei noastre despre atom, ca radioactivitatea. Ea a fost descoperită de către Henri *Becquerel* (1852—1908), în februarie 1896, în cercetări legate de razele Röntgen, descoperite la începutul lui ianuarie 1896 (cap. 4).

Anume, după metoda prin care erau produse pe atunci, în tuburi de sticlă, aceste raze porneau de la părţile fluorescente ale pereţilor vasului ; aşa a apărut ideea că fluorescenţa sau fosforescenţa ar putea fi cauza lor. În legătură cu aceasta, Becquerel a căutat la o seamă de corpuri fosforescente o radiaţie penetrantă, activă fotografic. El n-a avut succes decît atunci cînd a ajuns la o sare de uraniu, dar după aceea a trebuit să recunoască imediat că radiaţia descoperită nu este legată cauzal de fosforescenţă. Ceea ce a observat el era — cum ştim astăzi — acţiunea unor electroni rapizi. *Becquerel* a stabilit, mai departe, ionizarea aerului prin radiaţiile care porneau de la compuşii de uraniu. Toate acestea au inaugurat cercetarea unui domeniu uriaş. Imediat, mulţi savanţi s-au îndreptat în această direcţie, căci, prin descoperirea lui Röntgen, venise timpul ca astfel de constatări să fie preţuite la justa lor valoare.

Printre savanţii atraşi de noul domeniu se aflau şi soţii Pierre *Curie* (1859—1906) şi Marie *Curie* (1867—1934). Ei au cercetat sistematic, sub aspectul

proprietăților radioactive, toate elementele chimice cunoscute (tot de la ei provine și denumirea) și au descoperit radioactivitatea la toriu (de altfel, în același timp cu Gerhard C. *Schmidt*) și de milioane de ori mai intens la două elemente noi, poloniul și radiul. Metodologia chimică analitică legată de cercetarea tuturor precipitatelor, pentru a pune în evidență radioactivitatea, a dus, în mîinile a numeroși urmași, la stabilirea celorlalte elemente radioactive „naturale", în următoarele două decenii. Îndeosebi, Otto *Hahn* a completat lista acestora, de exemplu descoperind radiotoriul (1904), mezotoriul I și II (1907) și protactiniul, împreună cu Lise *Meitner*, în 1917. Procedee întrucîtva diferite s-au dovedit necesare numai pentru gazele radioactive, emanațiile, dintre care *Rutherford* a descoperit-o pe cea dintîi, în 1900, anume emanația toriului, stabilind totodată că este un gaz.

Același mare cercetător a distins, încă din 1897, pe baza puterii lor de pătrundere, două feluri de radiații radioactive, razele α care sînt absorbite mai ușor, și razele β mai pătrunzătoare. Pe cînd acestea din urmă s-au dovedit imediat a fi electroni, pentru că sînt ușor absorbiți, cum au arătat cercetările făcute de Friedrich Ernst *Dorn* (1848—1916), Jean *Becquerel*, Friedrich *Giesel* (1852—1927) și Egon v. *Schweidler* (1873—1948), stabilirea naturii celor dintîi i-a cerut lui Rutherford o muncă de lungă durată. Însă în 1903, el a stabilit, prin experimente de deviere, că raportul dintre sarcina și masa lor se potrivește, ca semn și mărime, cu cel al atomilor de heliu avînd două sarcini pozitive. În 1904, William *Ramsay* (1852—1916) și F. *Soddy* au stabilit prezența neașteptată a heliului în compușii radiului, fapt a cărui singură explicație era formarea heliului din radiu. Iar în 1909, *Rutherford*, împreună cu

T. *Royds*, a confirmat identitatea particulelor α cu ioni de heliu, acumulînd particule α neutralizate şi dovedind că emit linia spectrală galbenă caracteristică pentru heliu. Astfel a fost demonstrată formarea elementului heliu din alte elemente. În acelaşi timp s-a constatat treptat că un corp radioactiv emite, cu mici excepţii, or numai radiaţii α or numai radiaţii β; radiaţia γ, nedeviabilă, descoperită de Paul *Villard* în 1900, *poate* să apară împreună cu radiaţii α ca şi cu radiaţii β.

Dar această constatare a lui Rutherford nu era prima indicaţie referitoare la transmutaţia radioactivă a atomilor ; aceasta datează încă din anul 1903. Atunci a trezit vîlvă faptul că la o bucată de sare de radiu de o deosebită puritate, P. *Curie* şi A. *Laborde* au stabilit o temperatură permanent mai înaltă decît a mediului. Cauza acestui efect s-a dovedit a fi o generare continuă de căldură, reprezentînd 140 calorii mici pe gram de radiu şi pe oră. Şi acest fapt uluitor a fost confirmat mai tîrziu (în 1908) prin numărarea particulelor α emise într-o secundă, efectuată de *Rutherford* şi H. *Geiger*, care au calculat din acest număr şi din energia fiecărei particule, determinată cu ajutorul devierii, acelaşi debit de energie. Imediat s-a pus întrebarea : de unde provine această energie care se eliberează fără încetare ? *Rutherford* şi *Soddy* ajunseseră, încă în 1902, la ideea că orice proces radioactiv este o transmutaţie de elemente. Aşadar, era limpede că energia degajată la un proces elementar individual este egală cu diferenţa de energie dintre atomul nou şi cel vechi. De atunci se vorbeşte despre dezintegrarea radioactivă şi de atunci lumea s-a învăţat să încadreze toate elementele radioactive „naturale" în trei familii de dezintegrare ; elementele lor generatoare sînt uraniul, protactiniul şi toriul. Radiul şi poloniul fac parte din

familia uraniului. Încadrarea acestor elemente în sistemul periodic a condus, între anii 1911 și 1913, pe A. S. *Russel*, K. *Fajans* și F. *Soddy* la regulile de deplasare, potrivit cărora emisia unei particule α micșorează numărul de ordine al atomului cu doi, aceea a unei particule β îl mărește cu unu, în perfectă concordanță cu recunoașterea indentității dintre numărul de ordine al nucleului și numărul sarcinilor, stabilită cu certitudine definitivă în 1913 prin spectroscopia de raze Röntgen. Aceasta a marcat sfîrșitul vechii concepții asupra indestructibilității și a increabilității atomilor chimici.

Radiația γ nu are de-a face direct cu transmutația elementelor. Ea apare numai atunci cînd se formează, cu această ocazie, un nucleu excitat în sensul teoriei cuantelor, care trece apoi în starea fundamentală, emițînd o cuantă γ. Dovada experimentală că radiația γ apare numai după transmutație a fost dată, în 1926, de către Lise *Meitner*.

Una dintre constatările cele mai vechi arăta că radioactivitatea unui preparat scade cu timpul, deși cu viteză diferită pentru diferitele corpuri. Legea acestei scăderi a fost stabilită, în 1899, de Julius *Elster* (1854—1920) și Hans Friedrich *Geitel* (1855—1923); numărul particulelor emise pe secundă descrește exponențial în timp. Constanta acestei legi, timpul de înjumătățire, este o caracteristică pentru fiecare element. Acest timp, în cursul căruia numărul de particule emise pe secundă scade la jumătate, variază între limite foarte largi, de la $1{,}6 \cdot 10^{10}$ ani pentru toriu, pînă la 10^{-4} s la radiu C, și chiar mai puțin. Potrivit regulii descoperite în 1912 de Hans *Geiger* și J. M. *Nuttall*, la radiația α există o legătură între timpul de înjumătățire și energie, respectiv parcursul particulelor emise. În fiecare familie ra-

dioactivă, energia este cu atît mai mare cu cît este mai mic timpul de înjumătățire ; interpretarea acestui fapt în spiritul mecanicii ondulatorii a fost dată de G. *Gamow* în 1928 (cap. 14).

În 1905 s-a înregistrat un progres de importanță uriașă, cînd E. v. *Schweidler* a dat interpretarea legii empirice a dezintegrării : probabilitatea de dezintegrare este independentă de timp pentru fiecare atom și, firește, cu atît mai mare cu cît este mai mic timpul de dezintegrare. Fizica se lovea aici pentru prima dată de un proces care nu se lăsa explicat cauzal. Nici astăzi nu putem indica motivul pentru care un atom radioactiv se dezintegrează tocmai acum și nu în alt moment. Imposibilitatea, adeseori stabilită, de a modifica dezintegrarea prin vreo acțiune fizică ascunde problema ca un văl. Teoria probabilistică a fost confirmată în 1906—1908 prin observațiile făcute de Fritz *Kohlrausch* (1887—1953), Edgar *Meyer* și F. *Regener*, precum și de H. *Geiger* asupra fluctuațiilor teoretice ale numărului de particule emise în unitatea de timp. Ei au numărat scintilațiile produse pe un ecran de fiecare particulă α.

Importanța teoriei lui *Schweidler* constă în faptul că, ulterior, fizica a avut de-a face cu multe alte procese atomice pentru care ea poate foarte bine să indice o probabilitate, fără a fi însă capabilă de a stabili cauzal momentul producerii lor. Considerațiile lui *Schweidler* pot fi extinse asupra tuturor acestor procese.

Demonstrarea dezintegrării radioactive a atomilor a făcut să reînvie ideea alchimiștilor despre transformarea artificială a unui element în altul ; sînt numeroase experimentele din acest domeniu, făcute cam pînă în 1930, de exemplu cu ajutorul arcului electric. Însă nici una

dintre transmutațiile aparent realizate nu a rezistat criticii; după cum știm astăzi, numai printr-o singură metodă putem concentra cantitățile de energie necesare asupra unui singur atom: prin ciocnirea cu alte particule atomice sau cu cuante γ. Însă și la experimente de acest fel, rezultatele aparent obținute erau la început (1907) greșite. Prima transmutație artificială adevărată i-a reușit abia lui *Rutherford*, în 1919; el a iradiat azot cu particule α și a obținut protoni de mare energie. Fotografiile în camera Wilson ale acestui proces, ca și cele făcute de P.M.S. *Blackett* în 1925, arată, pe lîngă urma lungă a protonului, și urma scurtă a izotopului de oxigen cu numărul de masă 17, care apare în același proces; ambele urme pornesc din punctul unde se termină traiectoria particulei α. Între 1921 și 1924, *Rutherford* și J. *Chadwick* au putut realiza reacțiile corespunzătoare — absorbția unei particule α și emisia unui proton — la toate elementele, de la bor (numărul atomic 5) pînă la potasiu (numărul atomic 19), cu excepția carbonului și a oxigenului. În afară de proton mai apare aici totdeauna elementul următor din sistemul periodic.

Anul 1930 a fost un an important pentru dezvoltarea acestui domeniu. Întîi, W. *Bothe* și H. *Becker* au observat o radiație γ penetrantă la bombardarea cu particule α a unor elemente ușoare, în special a beriliului. Aceasta se explică — cum au arătat aceiași autori și a confirmat K. *Schnetzler* — printr-o excitare a nucleului de beriliu în urma ciocnirii și revenirea la starea fundamentală prin emisia unei cuante γ, procesul fiind condiționat de atingerea unei limite inferioare a energiei particulelor α de $2{,}3 \cdot 10^6$ eV. I. *Curie* și F. *Joliot* au confirmat observația fundamentală, ajungînd însă, cu un aparataj modificat, la alte rezultate în privința

absorbției radiației astfel produse. Cu ajutorul camerei Wilson, ei au arătat că această radiație imprimă unor atomi mai ușori o mișcare atît de rapidă, încît teoria ciocnirilor nu o poate atribui acțiunii razelor γ. De aci, J. *Chadwick* a tras apoi concluzia că, în acest caz, se formează, în afară de radiația γ, și un corpuscul avînd sarcina nulă și masa aproximativ egală cu a protonului, adică neutronul, a cărui existență *Rutherford* o bănuise de mult. După cum a demonstrat K. *Schnetzler*, în afară de excitarea beriliului, poate avea loc într-adevăr o captură a particulei α, urmată de emisia unui neutron, dacă energia particulei α este de cel puțin $4{,}7 \cdot 10^6$ eV. În acest caz, ceea ce rămîne este un atom de carbon.

Această idee s-a dovedit ulterior foarte utilă; a fost descoperită o mulțime de reacții nucleare, în care captura unei particule α sau a unui deuteron duce la emisia unui neutron. Între altele, ciocnind deuteroni rapizi cu deuteroni, M.L.E. *Oliphant*, P. *Harteck* și E. *Rutherford* au obținut, în 1934, o abundentă sursă de neutroni, care permite realizarea multor experimente cu neutroni.

În 1934, efectuînd astfel de experimente, I. *Curie* și F. *Joliot* au ajuns la reacții în care nucleul nou format nu este stabil, ci se transmută mai departe radioactiv, prin emisia unui pozitron. Și la acești atomi radioactivi „artificiali" se verifică legea de dezintegrare a lui Schweidler. Mai tîrziu, au fost descoperite cazuri în care, în locul pozitronului, apare un electron, cîteodată însoțit și de o radiație γ. Începînd din 1934, cînd Enrico *Fermi* (1901—1954) a introdus neutronii ca particule-proiectil, numărul de nuclee radioactive sau stabile obținute prin transmutații artificiale a atins multe sute,

și aproape toate căsuțele sistemului periodic s-au umplut cu izotopi (cap. 10).

În toate aceste reacții, dintr-un atom se formează atomi care ocupă ori aceeași căsuță în sistemul periodic, ori căsuțe învecinate. De aceea, a fost o adevărată senzație cînd, în 1938, O. *Hahn* și F. *Strassmann* au pus în evidență, la ultimul element din sistemul periodic cunoscut pe atunci, uraniul, o dezintegrare în elemente de la mijlocul sistemului, provocată de o bombardare cu neutroni. Și anume, se produc multe feluri de dezintegrări ; speciile de atomi care se formează sînt, în marea lor majoritate, instabile și se dezintegrează imediat ; timpul de înjumătățire este la unele numai de ordinul secundelor, așa încît Hahn a fost nevoit să transforme metoda de cercetare a soților Curie, amintită mai sus, într-o metodă rapidă, în care uneori contează fiecare secundă. Important era că și cele două elemente care preced uraniul — protactiniul și toriul — prezintă o dezintegrare similară sub acțiunea neutronilor, deși, cîteodată, este nevoie de o energie mai mare a neutronilor decît în cazul uraniului, pentru a declanșa procesul. Totodată, în 1940, G. N. *Flerov* și K. A. *Petrjak* au descoperit fisiunea spontană a nucleului de uraniu cu cel mai lung timp de înjumătățire cunoscut pînă atunci, anume aproximativ $2 \cdot 10^{15}$ ani ; ea poate fi identificată prin neutronii pe care-i eliberează. În 1939, Lise *Meitner* și Oskar Robert *Frisch* au reușit să calculeze teoretic fenomenul. *Frisch* a măsurat și energia imensă care se eliberează la fisiunea uraniului. Așa putem înțelege de ce se termină sistemul periodic „natural" cu cele trei elemente numite mai sus.

Fisiunea uraniului prin neutroni a făcut posibilă și utilizarea energiei atomice la care se gîndeau mulți ca la un vis al lui Jules Verne și pe care încă *Ruther-*

ford o calificase drept utopie. La fisiunea prin neutroni a izotopului de uraniu 235 se eliberează, în medie, la un singur act elementar, adică la procesul produs de un neutron, doi neutroni, cum au stabilit, încă în 1939, F. *Joliot*, L. *Kowarski* şi H. v. *Halban* jr. Aceasta face posibilă, în anumite condiţii, o reacţie în lanţ, care duce la alte fisiuni nucleare, aşa încît procesul decurge de la sine într-un ritm din ce în ce mai intens. Al doilea război mondial, care a izbucnit la opt luni după publicarea descoperirii lui Hahn, a determinat ca prima utilizare să fie crearea unei arme noi şi îngrozitoare. Un mare colectiv de cercetători americani şi englezi, subvenţionat cu mijloace imense acordate de stat, a creat în cursul acestui război bomba atomică, care a fost făcută să explodeze la 16.8.1945 la New Mexico, la 6.8.1945 la Hiroshima şi imediat după aceea la Nagasaki. Prezentarea în amănunt a acestei dezvoltări ar depăşi cadrul cărţii noastre [1]. Din punct de vedere fizic, acesta a fost cel mai mare experiment pe care oamenii l-au organizat vreodată. Era confirmarea strălucită a unei supoziţii îndrăzneţe, bazată pe convingerea că fizica reprezintă un adevăr obiectiv.

Nu se poate stabili încă cît de adînc va fi restructurată omenirea, exterior şi interior, de consecinţele acestei descoperiri. Poate că istoriografia de mai tîrziu va considera datele de mai sus drept cele mai importante pentru o întreagă perioadă. Aceasta cu atît mai mult, cu cît o desfăşurare încetinită a reacţiei în lanţ care duce la explozie în bombă face posibilă utilizarea energiei nucleare în „pila" de uraniu, dintre care funcţionează acum multe, în scopuri paşnice, constructive.

[1] Vezi H. D. Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton University Press, 1945.

În secolele XVIII—XIX şi parţial în secolul nostru, chimiştii au reuşit, cu ajutorul analizei chimice, să descopere şi să obţină în stare pură majoritatea celor 92 de elemente chimice pentru care exista loc în sistemul periodic de atunci (cap. 10). Reacţiile nucleare au permis să se creeze specii de atomi artificiali care să umple puţinele lacune rămase. Astfel, în 1937, G. *Perrier* şi E. *Segré* au găsit elementul nr. 43 (tehneţiul) ; în 1940, G. T. *Seaborg* a descoperit nu mai puţin de cinci izotopi ai elementului nr. 61 (prometiul) ; în acelaşi an, D. R. *Corson,* K. R. *McKenzie* şi E. *Segré* au sintetizat elementul nr. 85 (astatiniul). Cu ajutorul aceloraşi mijloace, care se utilizează în proporţie mult mai mare în pilele de uraniu, a reuşit şi producerea elementelor cu număr atomic mai mare decît al uraniului (nr. 92). Aceste „transuranice" se numesc neptuniu (nr. 93) şi plutoniu (nr. 94), primul descoperit în 1940 de E. C. *McMillan* şi de P. H. *Abelson* [1], al doilea în 1941, de G. T. *Seaborg,* E. M. *McMillan,* J. W. *Kennedy* şi E .C. *Wahl.* Ele şi-au primit numele după planetele care urmează lui Uranus. Mai tîrziu, între 1946 şi 1949, G. T. *Seaborg* şi colaboratorii au mai descoperit elementele 95 pînă la 98, numite americiu, curiu, berkeliu şi californiu *. Toate acestea sînt radioactive şi au timpuri de înjumătăţire foarte scurte în comparaţie cu vîrsta Pămîntului ; de aceea este firesc să nu le mai găsim în natură.

[1] Încă în 1937, Otto *Hahn,* Lise *Meitner* şi Fritz *Strassmann* au descoperit un izotop radioactiv al uraniului al cărui produs de dezintegrare trebuia, în mod necesar, să aibă sarcina nucleară 93. Mijloacele lor experimentale erau însă insuficiente pentru a putea face dovada directă.

* Între timp s-au mai adăugat elementele pînă la nr. 103 inclusiv : einsteiniu, fermiu, mendeleviu, nobeliu şi lawrenciu. *(N. T.).*

12

FIZICA CRISTALELOR

Ştiinţa care studiază cristalele aparţine exclusiv epocii moderne. Ce-i drept, formele regulate ale anumitor diamante, ca şi feţele plane ale altor cristale trebuie să fi fost de mult remarcate ; dar probabil că din cauza varietăţii aparent neregulate a mărimii şi a formei lor nu au fost stabilite legi. În antichitate, cunoaşterea mineralelor n-a depăşit limitele unor observaţii întîmplătoare şi era, în plus, amestecată cu mitologia şi cu superstiţii legate de puterea magică a pietrelor preţioase.

Cu totul izolată apare, pe acest plan, o mică scriere din 1611 a lui Johannes *Kepler* ; din simpla examinare a „zăpezii hexagonale", care dă şi titlul lucrării, acest om genial a ajuns la unele idei despre simetrie şi chiar la gîndul că zăpada ar fi constituită din sfere strîns îngrămădite. În consideraţiile sale geometrice recunoaştem desfăşurări de idei ca cele pe care Kepler le-a folosit în 1596, în *Prodromus*, unde a dedus o lege pentru razele orbitelor planetare. S-a dovedit curînd că această lege nu este valabilă, însă ideea că lumea ar fi opera unui spirit căruia îi plac relaţiile matematice simple l-a condus aici pe un drum bun. Dar această scriere ocazională, pe care şi autorul o considera pe jumătate o glumă, nu a exercitat nici o influenţă.

A fost într-adevăr o realizare că, în 1669, Niels *Stensen* (Nicolaus Steno, 1638—1686), cercetînd cris-

talul de stîncă (cuarț) — de la care denumirea de „cristal" a fost extinsă treptat și asupra altor solide cu forme naturale regulate — și alte cîteva cristale, a descoperit că între fețele lor, oricare ar fi forma lor concretă, apar întotdeauna aceleași unghiuri ; cu un ascuțit spirit de observație, el a mai constatat că creșterea cristalelor se produce prin depuneri de substanță din mediul înconjurător, și nu într-un mod analog cu creșterea plantelor, din interior spre exterior, cum se credea cîteodată. În același an, Erasmus *Berthelsen* (Bartholinus, 1625—1698) observă la spatul de Islanda dubla refracție a luminii, pe care în 1678 *Huygens* (cap. 4) o explică în sensul teoriei ondulatorii. În 1688, Domenico *Guglielmini* (1655—1710) extinde legea constanței unghiurilor asupra cristalelor unor săruri. După aceea însă, timp de un secol, știința nu a mai depășit aceste constatări. Marile progrese din celelalte domenii ale fizicii nu au afectat știința cristalelor, pentru că fizicienii aveau rar ocazia să vadă cristale bine formate, iar mineralogii, care posedau astfel de cristale, se ocupau în principal de alte probleme ; arta dificilă a creșterii sistematice de cristale artificiale se dezvoltă abia în secolul al XX-lea. Face excepție descoperirea piroelectricității turmalinei, pe care în 1758, după îndelungi interpretări eronate, Franz Ulrich Theodor *Æpinus* o explică drept o încărcare electrică a fețelor, determinată de o schimbare de temperatură.

Abia în 1772 apare din nou o lucrare importantă, consacrată formelor cristaline, în care Jean-Baptiste *Rome de l'Isle* (1736—1790) extinde legea constanței unghiurilor dintre fețe asupra unei serii de alte cristale. Unghiurile, adică pozițiile relative ale fețelor sînt — cum știm de atunci — caracteristica propriu-zisă a

oricărui tip de cristal, pe cînd mărimea feţelor este determinată, în mare măsură, de diverse circumstanţe întîmplătoare, care intervin în cursul creşterii cristalului.

Aceasta este legea pe baza căreia s-a dezvoltat cristalografia geometrică, în minuţioase lucrări izolate, şi nu fără multe rătăciri. După lucrările epocale ale lui Christian Samuel *Weiss* (1780—1856), cercetările elevului său Franz Ernst *Neumann* (primul mare fizician care se ocupă şi de cristale), după cercetările lui Friedrich *Mohs* (1773—1839) şi ale lui Karl Friedrich *Naumann* (1797—1873), în sfîrşit, în 1839, William Hallows *Miller* (1801—1880) ajunge să enunţe „legea de raţionalitate" — recunoscută înainte şi de Weiss şi de Neumann — într-o formă în care poziţia fiecărei feţe a cristalului este caracterizată prin trei numere întregi, nu prea mari — „indicii" ei —, dacă se cunosc dinainte trei axe ale cristalului şi lungimea fiecăreia dintre ele. Cercetătorii de mai sus au încercat să dea şi o clasificare pe sisteme a cristalelor. Însă o sistematică completă, adică demonstraţia geometrică, pe baza legii de raţionalitate, că există 32 de clase de cristale şi nu mai multe, a putut fi obţinută abia spre sfîrşitul acestei perioade (1830), de către Johann Friedrich Christian *Hessel* (1796—1872). De altfel, şi lucrarea lui a rămas neluată în seamă timp de decenii, aşa încît, în 1867, Alex *Gadolin* (1828—1892) a construit din nou această sistematică, într-un mod mai elegant, fără să cunoască opera predecesorului său. Cu aceasta, cristalografia geometrică îşi atinsese ţelul.

Clasele de cristale au fost distinse iniţial pe baza simetriilor valabile pentru poziţiile feţelor lor. Paralel cu dezvoltarea acestei concepţii s-a format însă şi ideea că aceleaşi simetrii sînt determinante pentru procesele din interiorul cristalelor, de exemplu pentru propagarea luminii şi pentru elasticitate. Spatul de Islanda, la care a

fost descoperită întîi birefringența, are numai o singură axă optică. În 1812, Jean-Baptiste *Biot* a descoperit primul cristal biax, mica ; în 1813, David *Brewster* (1781—1868) a confirmat existența a două axe la topaz și la alte cristale, extinzînd lista substanțelor birefringente (în 1818) la mult peste 100. Cunoscutul astronom John Frederick William *Herschel* (1792—1871) a perfecționat aceste cunoștințe, de exemplu folosind lumină *monocromatică*. Însă legătura menționată cu simetria geometrică a pozițiilor fețelor a fost formulată în esență corect abia de Franz *Neumann*, în 1833, care a redus și cristalooptica lui Fresnel la teoria elastică a luminii (1832). Același mare cercetător a creat teoria elasticității cristalelor ; elevul său, Woldemar *Voigt* (1850—1919), a mers pe urmele sale ; manualul lui de fizică a cristalelor, apărut în 1910, a rămas pînă astăzi un tezaur inepuizabil pentru toate problemele privind fizica cristalelor. Aici se găsesc, între altele, și teoria piroelectricității, dată în 1878 le William *Thomson*, precum și cea a piezoelectricității, descoperită în 1881 de Pierre *Curie*.

Esența stării cristaline nu o vedem însă astăzi în nici una dintre aceste proprietăți, ci în ordonarea atomilor în rețele spațiale, adică în configurații cu periodicitate riguroasă pe trei direcții. Toate proprietățile amintite mai sus ale cristalelor se interpretează ușor dacă le considerăm drept consecințe ale acestei configurații spațiale. Teoria rețelei spațiale are o istorie lungă. Pachetele de sfere, despre care vorbea *Kepler* în 1611, erau deja rețele spațiale, fără ca el să fi dat acestei noțiuni o formă explicită. Foarte activul Robert *Hooke* a exprimat, în 1665, în lucrarea sa *Micrografia* (ca și atît de frecvent în alte domenii), o concepție corectă despre

structura cristalelor, fără să o dezvolte sau să o elaboreze mai amănunţit. În cartea sa *Traité de la lumière*, tipărită în 1690 (cap. 4), *Huygens* dă pe baza clivajului spatului de Islanda, o structură de reţea spaţială, compusă din mici particule elipsoidale. Din cauza aceleiaşi proprietăţi, cristalul este conceput, în 1773, de Tobern *Bergman* (1735—1784) şi într-un mod mai general, în 1782 şi mai tîrziu, de René-Just *Haüy* (1743—1822), ca o zidărie din mici cărămizi paralelipipedice, care prezintă de asemenea o triplă periodicitate. Cel dintîi însă care combină această concepţie cu noţiunea nou creată a atomului chimic şi consideră reţeaua spaţială formată din atomi chimici este fizicianul Ludwig August *Seeber* (1793—1855). El merge chiar mai adînc în înţelegerea fizică a problemei, depăşind această supoziţie pur geometrică şi considerînd că distanţele dintre atomi sînt determinate de forţele care acţionează între ei şi că elasticitatea şi dilatarea termică sînt şi ele legate de acestea. El publică această concepţie în 1824, cu 32 de ani înainte ca atomistica, sub forma teoriei cinetice a gazelor, să-şi fi făcut intrarea în fizica modernă. Dar poate că tocmai de aceea realizarea sa — şi era într-adevăr o realizare — a căzut pradă unei uitări totale. Zidul uitării nu a fost spart nici cînd, în 1831, marele Carl Friedrich *Gauss* a atras atenţia, în recenzia unei cărţi de matematică, asupra problemelor pe care le pune ideea lui Seeber pentru „aşezarea paralelipipedică a unor puncte în spaţiu". Abia în 1879, *Sohncke* (vezi mai jos) a scos din nou la lumină lucrarea lui Seeber.

Cu totul independent s-a dezvoltat matematica reţelelor spaţiale, care descrie fiecare dintre aceste reţele, nu prin repartiţia formaţiunilor fizice în cadrul ei, ci numai prin operaţiile de suprapunere corespunzătoare.

Astfel, în 1835 şi în 1856, Moritz Ludwig *Frankenheim* (1801—1869) a pus problema dacă felurile de reţele spaţiale geometric posibile coincid cu simetriile stabilite la cristale. Încă înaintea celei de-a doua lucrări a acestuia, anume în 1850, Auguste *Bravais* (1811—1863) a dedus cele 14 reţele spaţiale care-i poartă numele şi care se pot forma doar prin *translaţiile* unui punct (fără a recurge la alte operaţii de suprapunere). Aceste concepte, bazate numai pe geometrie şi teoria grupurilor, au fost dezvoltate, în 1879, de Leonhardt *Sohncke* (1842—1897), care a mai luat în considerare şi anumite alte operaţii de suprapunere, ajungînd astfel la 65 de grupuri spaţiale distincte. Rezolvarea completă a problemei matematice, alcătuirea şi numerotarea *tuturor* grupurilor spaţiale geometric posibile se datoresc însă cristalografului Evgraf Stepanovici *Fedorov* (1853—1919) şi matematicianului Arthur *Schoenflies* (1853—1928). Amîndoi au ajuns în 1891, independent unul de celălalt şi pe căi cu totul diferite, la 230 de grupuri spaţiale.

La început, aceste cercetări nu au exercitat influenţă asupra fizicii, pentru că nici un fel de fenomene fizice nu impuneau adoptarea ipotezei reţelelor spaţiale. Printre puţinii fizicieni care se ocupau, în genere, de studiul cristalelor, unii susţineau concepţia opusă, anume că în cristale, ca şi în orice altă materie, centrele de greutate ale moleculelor ar fi distribuite fără nici o regulă şi că abia aşezarea paralelă a unor direcţii privilegiate ale moleculelor creează anizotropia. Nici în mineralogie nu s-a vorbit mult despre această ipoteză. Numai Paul v. *Groth* (1843—1927) a menţinut tradiţia lui Sohncke, în cursurile sale de la München. Victoria acestei ipoteze a fost cîştigată în 1912, prin experimentele lui W. *Frie-*

drich și ale lui Paul *Knipping* (1883—1935) care, potrivit ipotezei enunțate de M. v. *Laue*, au dovedit interferența radiațiilor Röntgen trecute prin rețeaua cristalină. Datorită lungimii lor de undă foarte mici, aceste radiații mai permit determinarea optică a distanțelor dintre atomi, care este imposibilă prin radiații cu lungime de undă mai mare, cum ar fi lumina. În aceste experimente s-a găsit și cea dintîi dovadă hotărîtoare pentru natura ondulatorie a radiațiilor Röntgen, pe care pînă atunci unii cercetători de seamă o negaseră, din cauza fenomenelor cuantice deosebit de pronunțate pe care le prezintă (cap. 14). Teoria acestor fenomene, dată de *Laue* chiar la prima publicație despre această temă și confirmată cantitativ, este o mică generalizare a celei obținute în 1835 de *Schwerd* (cap. 4) pentru rețele optice. Ea a fost numai scurtă vreme pusă la îndoială de către unii ; căci puținele maxime de interferență pronunțate ale radiațiilor Röntgen seamănă prea clar cu spectrele rețelelor optice. Această teorie nu este decît o aproximație, dar cu timpul a devenit din ce în ce mai evident că aproximația este uimitor de bună. Aici, teoria ondulatorie a radiațiilor Röntgen s-a unit strîns cu teoria atomică a cristalelor, unul dintre evenimentele surprinzătoare, care-i conferă fizicii puterea ei de convingere.

Această teorie permite compararea lungimii de undă cu cele trei perioade ale rețelei spațiale. Dat fiind că acestea din urmă puteau fi indicate inițial numai ca ordin de mărime, determinarea absolută a lungimii de undă era imposibilă. Dificultatea consta în structura atomară necunoscută ; nu se știa cîți atomi anume conține fiecare celulă a rețelei spațiale. Aici ajutorul vine în 1913, din partea lui William Henry *Bragg* (1862—1942) și a fiului său William Lawrence *Bragg*, care recurg la o ipoteză emisă în 1898 de William

Barlow (1845—1934) despre structura sării geme NaCl ; ideea celei mai dense îngrămădiri a unor sfere joacă aici iarăşi un rol. Pe baza intensităţilor maximelor de interferenţă, ei au confirmat această structură, obţinînd astfel o măsură absolută pentru constanta reţelei şi putînd etalona deci lungimile de undă ale radiaţiilor Röntgen în mod absolut, adică în centimetri, apoi au determinat cu ajutorul acestor lungimi de undă constantele reţelelor altor cristale. Acestea se situează, în majoritatea lor, între 10^{-8} şi 10^{-7} cm. La corpuri organice complicate se întîlnesc şi constante considerabil mai mari. În 1923, cînd A. H. *Compton* a putut observa difracţia radiaţiilor Röntgen prin reţele artificiale, măsurătorile sale nu au adăugat la vechile determinări ale lungimilor de undă decît o importantă creştere a preciziei.

Măsurarea lungimilor de undă a dat naştere spectroscopiei cu radiaţii Röntgen. Radiaţiile caracteristice *K, L, M,...* ale elementelor chimice, pe care în 1908 C. G. *Barkla* şi C. A. *Sadler* le-au distins după gradul diferit în care sînt absorbite, au fost rezolvate, începînd din 1913, întîi în lucrările celor doi *Bragg* şi ale lui H. G. J. *Moseley*, în serii de linii spectrale nete, ale căror lungimi de undă prezintă dependenţe simple faţă de locul elementelor în sistemul periodic, oricare ar fi compusul chimic din care face parte. Ele au căpătat o mare importanţă pentru atomistică (cap. 10 şi 14) ducînd chiar la descoperirea elementelor hafniu (1923) de către G. v. *Hevesy* şi reniu (1925) de către W. *Noddack*, I. *Tacke* şi Otto *Berg* (1874—1939). Şi astfel, cercetarea structurilor cristaline, în care ideea lui L. A. *Seeber* îşi găseşte o strălucită justificare, a devenit o importantă şi vastă ramură de sine stătătoare a ştiinţei. Numărul cristalelor organice şi anorganice pentru care putem

indica exact pozițiile atomilor este de ordinul miilor. Printre acestea figurează structuri foarte complicate, cum sînt acelea ale diverșilor silicați, de cînd G. *Menzer* a cercetat prima structură de acest gen la granat (în 1925). La multe metale, ca aluminiul, argintul, cuprul, s-a confirmat dispoziția atomilor în cele mai dense îngrămădiri de sfere, ca cele prevăzute în 1611 în scrierea amintită a lui *Kepler*. La aceste structuri, ca și la altele nu prea complicate, analiza Fourier röntgenografică a densității electronice este în stare să determine nu numai centrele de greutate ale atomilor, ci și distribuția electronilor, cum a dovedit W. H. *Bragg*, în 1915.

Radiațiile Röntgen au mai scos în evidență și răspîndirea stării cristaline. Ce-i drept, numai arareori este vorba despre cristale mari, bine formate ; mult mai frecvent avem de-a face cu structuri „microcristaline" din cristaliți microscopici sau și mai mici, dispuși aleatoriu. Pentru metale, această idee este veche. Era însă nou că și lemnul, fibrele musculare și nervoase, fibrele textile au o structură microcristalină. Starea cristalină este starea normală a substanței solide ; fac excepție numai puține corpuri de consistență solidă, în primul rînd sticla. De aceea, întreaga teorie atomică a corpului solid, de exemplu teoria cuantică a conductibilității electrice, pornește de la rețeaua spațială.

După constituirea mecanicii ondulatorii (cap. 14), rețelele spațiale au îndeplinit o misiune specială. Din teoria lui L. *de Broglie*, W. *Elsasser* a tras concluzia, în 1925, că trecînd prin cristale, razele de electroni ar trebui să prezinte fenomene de interferență similare cu cele ale radiațiilor Röntgen. Această ipoteză a fost confirmată în 1927, prin experimentele lui C. J. *Davisson* și L. H. *Germer*, pe de o parte, și ale lui G. P. *Thomson*, pe de altă parte ; ei au adus dovada intuitivă directă

şi, totodată, prin măsurarea lungimii de undă a acestor radiaţii, demonstraţia cantitativă a acesti teorii revoluţionare. Confirmarea corespunzătoare pentru fluxuri de atomi de heliu şi de hidrogen cu energii mai mici (sutimi de electronvolt) a fost dată prin experimentele lui Otto *Stern* (1929) şi ale lui Th. H. *Johnson* (1931), tot cu ajutorul cristalelor ; aici însă acţionează numai feţele, deoarece aceste raze nu pătrund în corpurile solide. La neutroni, în schimb, efectele reţelei spaţiale se pot pune în evidenţă tot aşa ca la radiaţiile Röntgen, de cînd cercetătorii americani dispun de puternice surse de neutroni ale ciclotronului (D. P. *Mitchell* şi P. N. *Powers*, 1936) sau ale pilei de uraniu (E. *Fermi* şi L. *Marshall*, 1947).

Teoria iniţială a interferenţelor în reţeaua spaţială este, cum am spus, o aproximaţie, ce-i drept aproape totdeauna suficientă pentru radiaţiile Röntgen şi neutroni, dar adeseori insuficientă pentru electroni. Completarea ei pînă la o teorie mai precisă, „dinamică", a fost realizată, pentru radiaţii Röntgen, în forme diferite de C. G. *Darwin* (1914) şi de P. P. *Ewald* (1917), care a reuşit, cu ajutorul ei, să explice abaterile măsurătorilor de precizie ale lui W. *Stenström* (1919) faţă de vechea teorie. Teoria dinamică şi-a căpătat forma probabil definitivă în 1931, datorită lui M. v. *Laue*, iar legarea ei de mecanica ondulatorie a fost efectuată de M. *Kohler* în 1935. Încă în 1928, H. *Bethe* realizase pasul corespunzător pentru electroni.

Spre deosebire de teoria mai veche, teoria dinamică descrie şi undele din interiorul cristalului ; ea a explicat în mod simplu, după W. H. *Zachariasen* şi M. v. *Laue*, descoperirea de către G. *Borrmann* a absorbţiei anormal de mici a radiaţiilor Röntgen în caz de interferenţă (1941), permiţînd lui M. v. *Laue*, în 1952,

să stabilească legile drumului optic pentru acest caz, ulterior confirmate în mod strălucit de G. *Borrmann* şi colaboratorii săi. Această teorie a ajuns, în mod necesar, şi la înţelegerea efectului de interferenţă găsit de W. *Kossel,* în 1935, la emisia unei radiaţii Röntgen monocromatice de către „cristale ideale", fără defecte, la care sursele de radiaţie sînt situate chiar în reţeaua spaţială. Anume, în direcţii determinate, stabilite de condiţiile interferenţei, intensitatea acestei radiaţii prezintă maxime sau minime caracteristice, foarte pronunţate.

Teoria iniţială era incompletă şi pentru că făcea cu totul abstracţie de mişcarea termică a atomilor, deşi aceasta, comparată cu cele trei perioade ale reţelei spaţiale, nu este de loc neglijabilă, la temperatura camerei sau la temperaturi mai mari. În 1914, P. *Debye* a arătat că mişcarea termică nu influenţează poziţia şi claritatea maximelor de interferenţă, dar că le micşorează intensitatea. Această teorie a suferit de atunci mai multe transformări. În anii 1926—1933, W. L. *Bragg* şi colaboratorii săi au confirmat-o prin lungi serii de măsurători.

13

RADIAȚIA TERMICĂ

Teoria radiației termice este una dintre ramurile cele mai tinere ale fizicii. Noțiunea a fost stabilită de chimistul Karl Wilhelm *Scheele* (1742—1786), primele experimente au fost făcute de Marcus-Auguste *Pictet* (1752—1825), iar Pierre *Prevost* (1751—1839) a tras din ele concluzia, în 1791, că fiecare corp radiază independent de mediul înconjurător; cantitatea de căldură care îi este comunicată prin radiație este diferența dintre ceea ce capătă de la mediu și ceea ce radiază el însuși; un principiu remarcabil, căruia nu-i corespunde nimic în cazul conductibilității termice. În prima jumătate a secolului al XIX-lea, fizicienii au recunoscut drept o unitate tot spectrul, adică radiația termică și cea luminoasă (cap. 4); și dat fiind că, în același timp, au fost stabilite primele două principii, termodinamica și optica au ajuns la punctul în care, din reunirea lor, a putut să apară rodul menit să producă cea mai mare revoluție în fizică. Aici s-a întîmplat unul dintre evenimentele despre care vorbeam în Introducere și care dovedesc adevărul fizicii.

Deschizătoare de drumuri a fost descoperirea lui Gustav Robert *Kirchhoff* (1824—1887), că în fiecare cavitate înconjurată de corpuri avînd aceeași temperatură se produce o radiație universală, numită radiația corpului negru, care depinde numai de temperatură și nicidecum de natura pereților, și că emisia radiantă a fiecărui corp poate fi redusă ca intensitate la aceasta,

dacă-i cunoaştem absorbţia şi indicele de refracţie (1859). Numai pentru radiaţia corpului negru este riguros valabilă legea cosinus a distribuţiei direcţiilor, pe care a stabilit-o, în 1760, Johann Heinrich *Lambert* (1728—1777), pe bază de observaţii asupra radiaţiei unor surse luminoase. Astfel, întreaga problemă a radiaţiei a fost redusă la cercetarea radiaţiei dintr-o cavitate închisă.

Importanţa acestei descoperiri nu o bănuia încă nimeni pe atunci ; de altfel, o observare a radiaţiei într-o cavitate închisă părea şi imposibilă pînă în 1895, cînd Otto *Lummer* (1860—1925) şi Wilhelm *Wien* au avut ideea de a privi în cavitate printr-o mică deschidere practicată în perete, care nu influenţa esenţial starea radiaţiei. Abia de atunci există o măsurare cantitativă a intensităţii radiaţiei corpului negru. Contemporanii au mai fost impresionaţi de o descoperire în legătură cu aceasta, comunicată de *Kirchhoff* şi de Robert Wilhelm *Bunsen* (1811—1899) cu cîteva luni înaintea cercetărilor lui Kirchhoff asupra radiaţiei, anume că liniile întunecate Fraunhofer din spectrul Soarelui coincid cu liniile de emisie bine cunoscute ale unor gaze şi vapori. În adevăr, astfel s-a arătat în mare măsură — lucru indicat înainte numai de cercetarea meteoriţilor — că substanţa extraterestră se compune din aceleaşi elemente chimice ca şi Pămîntul. Spectroscopia, ca instrument al astronomiei, a deschis imediat o nebănuită perspectivă de lărgire a cunoştinţelor noastre despre stelele fixe, dar realizările au întrecut orice aşteptări. Contrar tuturor regulilor, elementul heliu a fost descoperit întîi (1868) în Soare, şi anume de către Jules *Janssen* (1824—1907), iar abia în 1895 el a fos obţinut de William *Ramsay* (1852 —

1916) și Per Teodor *Cleve* (1840—1905) din mineralul cleveit. Spectroscopia astrelor este încă și astăzi departe de a fi încheiată.

Însă Kirchhoff vedea legătura dintre această descoperire și termodinamică mult mai strînsă decît este în fapt. Anume, el a greșit, presupunînd că emisia liniilor spectrale s-ar produce pe seama energiei termice. În majoritatea cazurilor, în gaze lumina este produsă de excitații electrice sau chimice ; temperatura radiației — cum spunem astăzi — este, în acest caz, mult superioară celei a gazului însuși. Coincidența liniilor de absorbție și a celor de emisie se bazează, în ultimă instanță, pe un fenomen de rezonanță, a cărui formulare definitivă a fost în stare s-o dea abia teoria cuantelor.

Al doilea pas în cercetarea radiației termice a fost realizat în 1884, de Ludwig Eduard *Boltzmann.* Trăgînd concluzia, pe baza teoriei electromagnetice a luminii, că radiația corpului negru exercită o presiune asupra pereților, egală cu o treime din energia ei în unitatea de volum, el a putut să deducă, prin aplicarea simplă a unor considerații termodinamice curente, că această energie este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute, înmulțită cu un factor universal. Aceasta a fost demonstrat și precizat într-un rezultat din 1879 al lui Josef *Stefan* (1835—1893), obținut pe bază de măsurători ale unor fizicieni francezi ; a fost, totodată, și un triumf al teoriei electromagnetice a luminii. H. A. *Lorentz,* făcînd necrologul lui Boltzmann, a calificat această mică lucrare drept o perlă a fizicii teoretice, a cărei îndrăzneală bine chibzuită stă în extinderea noțiunilor termodi-

namice de presiune şi temperatură (deci implicit şi a celei de entropie) asupra radiaţiei corpului negru [1].

Legea Stefan-Boltzmann vorbeşte despre energia totală a întregului spectru. Ţelul cercetării trebuia să fie distribuţia energiei în spectru. Un progres important în această direcţie a marcat al treilea pas în teoria radiaţiei termice, realizat în 1893 de Wilhelm *Wien*, prin combinarea unor consideraţii termodinamice cu principiul Doppler, aplicat la compresiunea radiaţiei corpului negru. Legea de deplasare a lui Wien — o realizare genială, pe care manualele actuale o scot prea puţin în relief — permite calculul distribuţiei energiei pentru orice temperatură, de îndată ce o cunoaştem pentru una singură. Ea este suficientă, şi fără să cunoaştem această temperatură, pentru a explica de ce maximul de intensitate al spectrului se deplasează tot mai mult spre undele scurte, o dată cu creşterea temperaturii, adică de ce radiaţia termică rămîne invizibilă la temperaturi mai joase, atingîndu-şi maximul în vizibil aproximativ la 6 000° ; legea ne permite, de îndată ce poziţia acestui maxim este cunoscută, să obţinem temperatura sursei de radiaţie, de exemplu a Soarelui. De asemenea, *Wien* a fost primul care a extins noţiunea de entropie, nu numai la radiaţia corpului negru, ci şi la radiaţia orientată, ceea ce era neapărat necesar în virtutea principiului creşterii entropiei, ţinînd seama că entropia unui radiator scade. După cum s-a constatat imediat după aceea, legea de deplasare ne duce pînă la ultimele limite la care este în genere capabilă să ajungă fizica clasică, adică pînă în pragul teoriei cuantelor.

[1] H. A. Lorentz, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* (1907).

Problema calculului intensității în funcție de frecvență și de temperatură a cunoscut multe încercări de soluționare. Am amintit legea care poartă numele lordului *Rayleigh* (1842—1919) și al lui James Hopwood *Jeans* (1877—1946), potrivit căreia ea este proporțională cu temperatura și cu pătratul frecvenței. Ea nu poate, în nici un caz, să fie valabilă pentru frecvențe oricît de mari (lungimi de undă mici), pentru că, în acest caz, nu obținem o valoare finită pentru energia totală a radiației ; ea conține însă un anumit adevăr, întrucît se verifică pentru frecvențe mici (lungimi de undă mari). Apoi, începînd din 1896, W. *Wien* și, mai tîrziu, Max *Planck* au propus o lege de distribuție, după care intensitatea trebuie să scadă exponențial cu lungimea de undă ; se evita astfel „catastrofa ultravioletului" și, pînă în 1899, această lege dădea impresia că este și bine confirmată de experiment. După această dată însă, măsurătorile perfecționate ale lui Otto *Lummer* și ale lui Ernst *Pringsheim* (1859—1917) au pus în evidență abateri clare, care l-au determinat pe Planck să reia chestiunea.

Lui Planck i-au folosit cei 20 de ani de activitate în domeniul termodinamicii și înțelegerea clară a semnificației entropiei, de care, în bună parte, lumea încă nu-și dădea suficient seama pe atunci. Pentru el, sîmburele problemei nu era formula însăși a intensității, ci dependența univoc legată de aceasta dintre energia, frecvența și entropia radiației ; legii de distribuție a lui Wien îi corespundea o astfel de dependență, iar legii Rayleigh-Jeans alta. Cînd, în octombrie 1900, Planck a aflat despre măsurătorile noi, efectuate de Ferdinand *Kurlbaum* (1857—1927) și Heinrich *Rubens* (1865—1922) și care confirmau această din urmă lege pentru unde lungi, el a stabilit între aceste două dependențe

o formulă de interpolare, din care a reieşit direct legea de radiaţie care-i poartă numele şi care conţine formulele mai vechi drept cazuri limită [1]. El a prezentat-o în ziua de 19.10.1900, la Societatea germană de fizică ; deşi a fost întrucîtva pusă la îndoială, formula a găsit tot mai multe confirmări empirice.

Mai rămînea de făcut principalul, anume motivarea teoretic întemeiată a acestei legi găsite pe cale semiempirică. *Planck* a revenit la dependenţa stabilită de *Boltzmann* între entropie şi probabilitate (cap. 10) şi a calculat-o pe aceasta din urmă pentru o formaţiune capabilă să oscileze cu frecvenţa ν, pornind de la o idee cu totul nouă, sugerată numai de nevoie, anume că nu sînt posibile decît trepte de energie discrete. De aici a reieşit în adevăr o lege a radiaţiei. Pentru ca ea să satisfacă legea de deplasare a lui Wien, treptele de energie trebuiau să se succeadă astfel, încît să se deosebească printr-o cantitate $h\nu$, în care h este o constantă universală nouă, cuanta de acţiune elementară. Astfel, formula teoretică a radiaţiei a ajuns să coincidă cu cea găsită prin interpolare. Valoarea numerică a lui h, obţinută prin comparare cu măsurătorile, este $6{,}5 \cdot 10^{-27}$ erg·s, iar aceea a constantei lui Boltzmann care intervine şi ea în legea de radiaţie, datorită folosirii relaţiei boltzmanniene dintre entropie şi probabilitate, este de $1{,}37 \cdot 10^{-16}$ erg/°C. Această deducţie a fost comunicată din nou de Planck la 14.12.1900, în faţa Societăţii germane de fizică. Din această zi există teoria cuantelor.

Introducerea de către Planck a cantităţii $h\nu$ pentru energie nu mai era o dezvoltare a fizicii de pînă

[1] Vezi M. Planck, *Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums*, „Naturwissenschaften", **31**, 153, 1943.

atunci, ci o revoluționare. Deceniile următoare au arătat tot mai limpede cît de adînc a mers această revoluționare și cît de necesară era. Cu ajutorul ideii de cuantă s-a putut ajunge la o înțelegere a proceselor din interiorul atomului, pînă atunci inaccesibile fizicii.

Ulterior, s-au mai dat alte deduceri teoretice ale legii de radiație a lui Planck. De exemplu, în 1910, P. *Debye* a aplicat oscilațiilor electromagnetice proprii ale corpului negru ipoteza cuantei $h\nu$ a energiei, obținînd astfel, pe o cale poate și mai simplă, formula radiației. Mai remarcabilă încă ni se pare deducția lui *Einstein* din 1917, care se îndepărtează cel mai mult de concepția oscilatorie a radiației corpului negru. Einstein caracterizează această radiație prin domenii spectrale și cuante de energie care aparțin acestor domenii. Fiecărui atom excitat din cavitatea radiantă i se atribuie o anumită probabilitate de emisie pe unitatea de timp, precum și o probabilitate de absorbție și de emisie forțată, proporționale cu energia radiației. Pentru atomii neexcitați se presupune numai o probabilitate de absorbție. Ideea lui *Schweidler* referitoare la probabilitatea de dezintegrare în cazul radioactivității își găsește aici o adaptare la alte procese atomice; ea s-a extins asupra întregii teorii a cuantelor.

Ca produs secundar, termodinamica radiației a furnizat o confirmare surprinzătoare a principiului lui Boltzmann. Două sisteme parțiale, despărțite spațial, sînt în genere statistic independente, așa încît probabilitățile lor se înmulțesc între ele dacă vrem să calculăm probabilitatea întregului sistem. Potrivit principiului de care ne ocupăm, înmulțirii probabilităților

îi corespunde compunerea aditivă a entropiei totale din entropiile celor două sisteme parţiale, care se presupun în general în termodinamica clasică, de cele mai multe ori tacit. Efectuînd astfel calculul în cazul a două raze coerente care apar dintr-o rază prin reflexie şi refracţie, constatăm că entropia lor totală este mai mare decît aceea a razei iniţiale. În 1906 însă, M. v. *Laue* a reuşit să demonstreze că acest proces era reversibil ; căci putem recompune o singură rază din două raze coerente, printr-o reflexie şi o refracţie adecvată. Entropia totală a celor două raze coerente trebuie deci să fie egală cu cea a razei iniţiale. Contradicţia se rezolvă dacă renunţăm la aditivitatea entropiei. Şi aceasta este în adevăr necesar, în virtutea principiului lui Boltzmann ; căci una dintre cele două raze este determinată în toate amănuntele oscilaţiei ei de cealaltă ; ea nu este independentă statistic de cealaltă. Această singură excepţie de la principiul aditivităţii entropiei ar fi de neînţeles fără principiul lui Boltzmann.

14

FIZICA CUANTICĂ

Fizica cuantică, care se deosebeşte de teoria mai veche prin apariţia cuantei de acţiune elementare *h* şi prin caracterizarea stărilor în sistemele materiale cu ajutorul unor numere *întregi*, datează (cap. 13) ca teorie abia de la începutul secolului al XX-lea. Rădăcinile ei experimentale se întind însă, parţial, departe pînă în secolul al XIX-lea. Ce-i drept, măsurătorile de intensitate a radiaţiei termice, care au dus la această cotitură, s-au efectuat abia în ultimul deceniu al acestui secol. În schimb, efectul fotoelectric şi, cu atît mai mult, lungimile de undă ale liniilor şi ale benzilor spectrale, precum şi dependenţa de temperatură a căldurii specifice a anumitor corpuri erau cunoscute cu decenii în urmă. Fizica mai veche *spera* să ajungă şi la înţelegerea fenomenelor enumerate aici — altfel, cum am putea să explicăm că Philipp v. *Jolly* (1809—1884) a răspuns la întrebarea tînărului *Planck* că fizica este o ştiinţă în esenţă încheiată, al cărei studiu nu ar mai deschide decît prea puţine perspective? Însă ceea ce s-a scris pe baza ideilor ei despre spectrele de linii nu rezistă criticii. În schimb, fizica cuantică a rezolvat aceste probleme cu mai multă sau mai puţină uşurinţă, explicînd totodată multe descoperiri noi.

Teoria radiaţiei a lui Planck nu prea a fost luată în considerare la început. Ideea unei variaţii discontinue a energiei era prea nouă. Poate că la unii trezea

rezerve faptul că determinarea cuantei elementare electrice din măsurătorile de radiație (cap. 10) apărea considerabil mai mare decît majoritatea valorilor obținute atunci din măsurători directe. Primul pas curajos pentru promovarea ideii cuantelor l-a făcut în 1905 *Einstein*, în teoria efectului fotoelectric.

Prima indicație referitoare la acest efect se găsește în 1887, la Heinrich *Hertz* : lumina ultravioletă ușurează străpungerea, atunci cînd iradiază un interval de scînteie. După un an, Wilhelm *Hallwachs* (1859—1922) stabilește drept cauză apariția unor purtători de electricitate : aceasta a fost prima indicație privind existența unor efecte electrice ale luminii, un fel de completare a identității esențiale a luminii și a undelor electrice, demonstrată de Hertz. În 1899, Philipp *Lenard* (1862—1947) stabilește că acești purtători de sarcină sînt electroni. În 1902, același cercetător descoperă o lege surprinzătoare a efectului de care ne ocupăm : energia electronilor este independentă de intensitatea luminii care-i eliberează ; aceasta nu determină decît numărul de electroni eliberați în unitatea de timp.

Acest fapt, de neînțeles în teoria ondulatorie a luminii, corespunde întocmai așteptărilor dacă concepem lumina, împreună cu Einstein, ca pe un flux de cuante luminoase (fotoni), dacă atribuim cuantei energia $h\nu$ și admitem că fiecare electron este smuls de către o *singură* cuantă. Atunci avem de-a face cu bombardamentul prin cuante al corpului iradiat. Dacă $h\nu$ este mai mic decît lucrul pentru extracția unui electron, atunci efectul nu se poate produce ; așadar, există un prag în partea de unde lungi a spectrului, care depinde și de corpul iradiat. Dacă încă $h\nu$ este mai mare, atunci energia fotoelectronilor este egală

cu $h\nu$ minus lucrul de extracţie ; acesta este deci o funcţie *liniară* de ν. Teoria lui *Einstein* redă fenomenul cu atîta exactitate, încît R. A. *Millikan* (1868—1955) a putut obţine, din observarea frecvenţei şi a energiei electronilor, o determinare bună a valorii lui h (1916).

Pornind de la aceeaşi concepţie, *Einstein* a stabilit, în 1912, legea fundamentală a fotochimiei potrivit căreia orice reacţie fotochimică constă în prima ei fază din absorbţia *unei singure* cuante luminoase şi din transformarea pe care o produce la *un singur* atom sau la *o singură* moleculă, În cele din urmă şi această lege s-a dovedit adevărată, după ce răbdarea infinită şi ingeniozitatea multor cercetători, dintre care menţionăm pe Emil *Warburg* (1846—1931), pe Max *Bodenstein* (1871—1942) şi pe James *Franck*, au lămurit toate reacţiile ulterioare, precum şi celelalte complicaţii, care se asociază adeseori la actul elementar descris mai sus şi care fac ca numărul de molecule transformate să apară uneori mai mic, alteori de multe mii de ori mai mare decît prevede legea.

Inversul efectului fotoelectric este producerea de radiaţie prin frînarea unui electron care se ciocneşte cu un atom sau cu o moleculă. Dacă frînarea se produce într-un act elementar, atunci este generată o cuantă luminoasă, a cărei energie $h\nu$ este egală cu energia cinetică a electronului (mărită cu o cantitate corespunzătoare lucrului de extracţie). La producerea de radiaţii Röntgen într-un tub Röntgen, frînarea electronilor pe anticatod are loc, în genere, în mai multe acte elementare. Însă cea mai mare frecvenţă posibilă — sau cea mai mică lungime de undă posibilă — corespunde, în orice caz, energiei electronilor. Aceasta este enunţat în legea limitei de unde scurte a spectrului de frînare,

stabilită în 1915 de W. *Duane* și F. L. *Hunt*. Dat fiind că ea încă nu era cunoscută în 1912, cînd a fost descoperită interferența radiațiilor Röntgen, M. v. *Laue* a trebuit, în teoria sa, să se aștepte la mult mai multe puncte de interferență decît apăreau în realitate, explicînd în mod greșit deosebirea dintre teorie și experiment prin proprietăți selective ale atomilor din cristal. De fapt lipseau, conform legii Duane-Hunt, lungimile de undă scurte care ar fi trebuit să apară în punctele absente.

Realitatea cuantei luminoase apare poate și mai clar în împrăștierea incoerentă a radiațiilor Röntgen, descoperită de A. H. *Compton* în 1923, întrucît aici contează nu numai energia cuantei, ci și impulsul ei. Încă Röntgen observase că aceste raze suferă o împrăștiere difuză în toate corpurile ; că această împrăștiere se produce în parte cu aceeași lungime de undă — ceea ce se știa de mult pentru lumină — a fost una dintre premisele fundamentale pentru reușita experimentelor de interferență pe cristale. *Compton* a arătat însă că se produce, totodată, o împrăștiere cu lungime de undă mai mare, deci cu frecvență mai mică. Teoria sa, obținută independent în același timp și de P. *Debye*, nu este altceva decît o aplicare a legilor de conservare a energiei și impulsului la interacțiunea unei cuante luminoase cu un electron liber. Cuanta transportă o anumită energie și un anumit impuls. După ciocnire, o parte din energie și din impuls i se comunică electronului, iar cuanta își urmează drumul cu o energie mai mică, deci cu frecvența micșorată și cu direcția schimbată. Această idee a fost confirmată în toate experimentele corespunzătoare.

Dar am anticipat asupra dezvoltării istorice și trebuie să revenim.

În 1875, Heinrich Friedrich *Weber* (1842—1913), măsurînd căldurile molare la cele două modificări ale carbonului, diamantul şi grafitul, precum şi la bor şi siliciu, a obţinut valori mult mai mici decît cele corespunzătoare legii Dulong-Petit (cap. 10) şi a arătat că aceste valori se apropie tot mai mult de cele cerute de legea menţionată, pe măsură ce creşte temperatura. A. *Einstein*, care ca student audiase prelegerile lui *Weber* la Zürich, a dat în 1907 teoria acestui fenomen. După statistica Boltzmann-Gibbs, energia unor rezonatori armonici este funcţie liniară de temperatura absolută ; de aceea, căldura specifică a unui sistem de astfel de rezonatori rămîne constantă. După statistica lui Planck însă, la temperaturi joase, căldura specifică a unui astfel de sistem scade exponenţial pînă la zero. Energia este totdeauna inferioară celei calculate după *Boltzmann* şi *Gibbs*. Atribuind atomilor corpului solid poziţii de repaus fixe, în jurul cărora fiecare oscilează cu o anumită frecvenţă, Einstein a putut să explice calitativ scăderea observată. Imperfecţiunile acestui model au fost eliminate, în 1911, de către P. *Debye*, care, transpunînd teoria sa a legii radiaţiei (cap. 13), a atribuit fiecăreia dintre oscilaţiile elastice proprii ale corpului solid energia indicată de *Planck* pentru rezonator. Astfel a rezultat faimoasa lege a proporţionalităţii căldurii molare în apropiere de zero absolut cu puterea a treia a temperaturii, lege pe care măsurătorile lui W. *Nernst* şi ale altora au confirmat-o pentru multe corpuri.

Anul 1913 a adus trei progrese. Întîi, J. *Franck* şi G. *Hertz* au stabilit frînarea în trepte a electronilor de către atomii unui gaz ; transmisia energiei de la electronii incidenţi la atomul nimerit are loc numai

în anumite cantităţi discrete, dependente de atom. Explicaţia era evidentă : atomii au stări de energie discrete, aşa cum susţinuse *Planck* pentru rezonator, numai că nivelele de energie nu sînt echidistante. Dacă se excită un atom aflat la nivelul cel mai de jos, adică în starea fundamentală, atunci electronul trebuie să fie capabil să-i comunice diferenţa de energie pînă la un nivel energetic superior, pierzînd tocmai această energie. Aceiaşi cercetători au mai arătat că energia sustrasă electronului este emisă adeseori sub fomă de cuantă luminoasă şi că frecvenţa ν a acestei radiaţii se calculează din egalitatea dintre energia $h\nu$ a cuantei şi energia transmisă. Aşadar, aici nivelele energetice discrete, pînă atunci ipotetice, şi-au găsit o confirmare experimentală directă.

A doua mare descoperire experimentală a anului 1913 a fost despicarea liniilor spectrale ale hidrogenului în cîmp electric, pusă în evidenţă de Johannes *Stark*. Însă amîndouă au fost întrecute ca importanţă de descoperirea teoretică a modelului atomului lui N. *Bohr*, o modificare a modelului lui *Rutherford*, obţinută prin introducerea unor condiţii cuantice. În timp ce modelul lui *Rutherford* admitea pentru mişcarea unui electron în jurul nucleului atomic o succesiune constantă de orbite, condiţiile cuantice separau din acestea un şir discret de cercuri, — după generalizarea lui A. *Sommerfeld* (1916) fiind admise şi elipse. Condiţiile erau : integralele de fază pentru fiecare orbită admisibilă sînt multipli întregi ai cuantei de acţiune *h*. Dat fiind că, o dată cu fiecare orbită, era fixată şi energia mişcării, rezulta astfel o teorie a nivelelor energetice discrete. Dacă acum atomul trece de la nivelul mai înalt E_1 la nivelul mai coborît E_2

cu emisia unei cuante, atunci aceasta trebuie, conform ideilor verificate la efectul fotoelectric, să aibă neapărat frecvenţa

$$\nu = \frac{E_1 - E_2}{h};$$

invers, prin absorbţia unei cuante de energie $h\nu$, electronul va ajunge de la E_1 la E_2, idee pe care o propagase încă J. J. *Thomson*, în 1912, pentru radiaţia caracteristică *K*, *L*, *M* a elementelor. Astfel apar, după *Bohr*, spectrele de linii.

Primul triumf al acestei teorii a fost explicarea spectrului hidrogenului de către *Bohr*. În 1885, Johann Jakob *Balmer* (1825—1898) stabilise pentru liniile din vizibil proporţionalitatea cu $\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}$, m fiind egal cu 3, 4, 5 etc. *Bohr* găseşte pentru orbitele sale circulare — iar *Sommerfeld* şi pentru elipsele admise, — că nivelele energetice discrete sînt egale cu $1/m^2$, înmulţit cu o constantă universală de proporţionalitate, aşa încît frecvenţele calculate după relaţia de mai sus satisfac exact formula lui Balmer. De asemenea, factorul de proporţionalitate, constanta lui *Rydberg*, s-a dovedit a fi concordant cu măsurătorile de precizie ale lui F. *Paschen* (cap. 4). Varianta dată de *Sommerfeld* s-a dovedit superioară teoriei iniţiale, pentru că admitea mai multe orbite pentru fiecare nivel de energie al atomului neexcitat. La perturbare prin cîmp electric sau magnetic, diversele orbite corespunzătoare unui nivel iniţial identic capătă energii întrucîtva diferite, nivelul „se despică" ; în mod corespunzător, potrivit formulei citate, se despică şi liniile spectrale. Astfel, a devenit posibilă teoria efectului Stark, pe care au dat-o, încă în 1916, Karl *Schwartz-*

schild (1873—1916) şi P. S. *Epstein*, precum şi aceea a efectului *Zeeman* normal, elaborată în acelaşi an de P. *Debye* şi A. *Sommerfeld.*

Dacă nucleul atomic este înconjurat de mai mult decît un singur electron, cum este cazul la toate elementele, cu excepţia hidrogenului, a heliului ionizat şi altor atomi multiplu ionizaţi, atunci calculul orbitelor cuantice şi al nivelelor energetice este posibil numai cu aproximaţie. Dar şi în acest caz, modelul atomic al lui *Bohr* dă o sistematică generală a spectrelor de linii, incluzînd şi liniile situate în domeniul radiaţiilor Röntgen. De asemenea, condiţiile cuantice permit o sistematică a spectrelor de bandă emise de moleculele poliatomice. În lumina acestei teorii, faptele empirice acumulate timp de decenii de spectroscopişti au permis o cunoaştere adîncită a învelişurilor electronice ale atomilor.

Astfel se deschide, după o primă iniţiativă a lui W. *Kossel* (1916), posibilitatea înţelegerii misteriosului sistem periodic al elementelor (cap. 10). Spectroscopia de radiaţii Röntgen stabilise, încă în 1913, că în sistem ordinea este determinată de sarcinile nucleare. Dar cum trebuie explicată periodicitatea aproximativă a proprietăţilor chimice şi a spectrelor de linii ? Misterul a fost complet lămurit în 1925, cînd — pe baza unor date spectrale — S. *Goudsmit* şi G. E. *Uhlenbeck* au atribuit electronului un moment magnetic şi unul cinetic, avînd valori bine determinate şi legate de constanta lui Planck, şi cînd, în acelaşi an, Wolfgang *Pauli* a stabilit principiul de excluziune, după care într-un atom nu pot fi doi electroni cu toate numerele cuantice identice. Acum, un raţionament simplu, controlat pas cu pas prin observaţii spectrale, arăta de

ce primele perioade ale sistemului cuprind cîte 8 elemente, următoarea — 18, o alta — 32 şi de ce fiecare perioadă începe cu un metal alcalin şi se încheie cu un gaz inert. Iarăşi, două sfere de idei total deosebite — cea veche, chimică, şi cea nouă, cuantică — s-au contopit pe neaşteptate, îmbinîndu-se în mod firesc.

Teoria magnetismului a cunoscut şi ea un nou avînt graţie modelului atomic al lui Bohr ; în adevăr, mişcarea electronilor pe orbite determinate reînvia ipoteza lui Ampère despre curenţii moleculari (cap. 5). Acum s-a mai adăugat o informaţie despre valoarea momentului fiecărui magnet elementar, care este un multiplu întreg al magnetonului Bohr, strîns legat de constanta *h* a lui Planck. Adevărul acestei consecinţe teoretice a fost confirmat în 1921 de W. *Gerlach* şi O. *Stern*, prin devierea magnetică a unor raze atomice de argint, cu care prilej s-a constatat că momentul acestui atom este exact egal cu un magneton.

Cu toate succesele ei mari şi persistente, teoria lui Bohr conţinea o eroare sistematică. Ea aplica mecanica clasică sau relativistă la calculul orbitelor electronice, după care, fără legătură interioară cu aceste calcule, excludea cu ajutorul condiţiilor cuantice majoritatea orbitelor obţinute ca fiind nerealizate. Mai unitară, şi întrucîtva superioară în explicarea spectrelor, este mecanica ondulatorie sau cuantică, întemeiată în 1924—1926, care astăzi şi-a înlăturat cu totul predecesoarea.

Primul pas a fost realizat în 1924 de Louis *de Broglie*. Pe baza unor consideraţii relativiste, el a asociat fiecărei mişcări a unui punct material o undă, a cărei

lungime se obţine din impulsul mecanic al particulei, prin intermediul constantei h a lui Planck. Pornind de la consideraţii cu totul diferite, E. *Schrödinger* a stabilit, în 1926, pentru unda asociată, o ecuaţie cu derivate parţiale, asemănătoare cu ecuaţia undelor, şi a constatat că din aceasta şi din condiţii la limită potrivite se poate trage concluzia unei mulţimi discrete de stări energetice. Pentru atomul de hidrogen au rezultat şi aici aceleaşi nivele de energie ca şi în teoria lui Bohr, deci şi aici putea fi dedusă formula lui Balmer pentru spectrul hidrogenului. Între timp, în 1925, M. *Born*, W. *Heisenberg* şi P. *Jordan* au creat o mecanică cuantică care, cu tot aspectul ei diferit, era identică matematic cu teoria lui Schrödinger, cum a stabilit acesta încă în 1926. Relaţia lui de Broglie dintre lungimea de undă şi impuls intervine şi în această teorie.

Ceea ce sprijină această teorie ondulatorie a materiei, pe care ştim s-o aplicăm matematic cu multă măiestrie, dar al cărui conţinut fizic — după opinia mea — noi nu l-am înţeles pînă acum în întregime, este mai ales experienţa spectroscopică în ansamblul ei, care atîrnă cu atît mai greu cu cît măsurătorile spectrale au o precizie cu totul neobişnuită în fizică, superioară chiar faimoaselor măsurători astronomice. Avem însă pentru undele de Broglie o dovadă care, dacă este mai puţin exactă, este în schimb cu atît mai intuitivă. După cum a presupus, în 1925, W. *Elsasser* (cap. 12), fluxul de electroni incidenţi pe cristale dă naştere la fenomene de interferenţă asemănătoare celor ale radiaţiilor Röntgen. Aceasta a fost confirmat, în 1927, de către C. J. *Davisson* şi L. H. *Germer*, precum şi de către G. P. *Thomson*. Experimente de difracţie asemănătoare cu raze atomice de heliu şi raze atomice sau

moleculare de hidrogen i-au reuşit, în 1929, lui O. *Stern*, iar în 1931, lui Th. H. *Johnson*. Toate aceste experimente au confirmat cantitativ formula lui de Broglie. Această teorie ondulatorie a fost confirmată nu numai în cazul împrăştierii unor corpuscule de către cristale, ci şi în cazul împrăştierii de către atomi şi molecule. Formula de împrăştiere a lui Rutherford, pe care descoperitorul ei a dedus-o din mecanică şi a folosit-o pentru explicarea împrăştierii particulelor α de către substanţă (cap. 11), a putut fi demonstrată, în 1926, de Max *Born*, pe baza mecanicii ondulaturii ; tot astfel, efectul descoperit, în 1923, de Carl *Ramsauer* (1879—1955), că gazele nobile aproape că nu deviază şi nu frînează electronii lenţi, a apărut ca o consecinţă a acestei teorii. Forma şi mărimea unor molecule de gaz mai simple, pe care, începînd din 1915, P. *Debye* le stabilise cu ajutorul radiaţiilor Röntgen, au putut fi cercetate şi cu ajutorul unor radiaţii de electroni, cum au arătat, în 1930, H. *Mark* şi R. *Wierl* (1904—1932). De atunci cunoaştem distanţele dintre nucleele atomice pentru multe molecule diatomice, cum sînt : azotul, oxigenul, fluorul etc. ele se situează între $1 \cdot 10^{-8}$ şi $3 \cdot 10^{-8}$ cm —, se ştie că molecula bioxidului de carbon CO_2 este liniară, că în schimb aceea a apei H_2O prezintă un unghi etc. Deosebit de bine măsurată este molecula tetraclorurii de carbon CCl_4 ; atomii de clor formează un tetraedru regulat, în al cărui centru se află atomul de carbon. Concepţiile stereochimice ale lui J. H. *van't Hoff* din anul 1874 îşi găsesc astfel cea mai frumoasă confirmare.

Realizările acestei teorii s-au înmulţit în scurt timp. Un succes foarte pregnant a fost cel înregistrat în aplicarea ei la dezintegrarea radioactivă prin radiaţii α,

După această teorie, există un „efect tunel", o „străcurare" a particulei printr-o barieră de potențial, în cazul în care energia particulei nu este suficientă, potrivit mecanicii clasice, pentru a trece peste barieră. În 1928, G. *Gamow* a redus emisia particulelor α la acest efect tunel. Potrivit teoriei sale, nucleul atomic este înconjurat de o barieră de potențial, însă particulele α au o anumită probabilitate de a se „strecura" prin ea. Relația dintre parcurs și timpul de înjumătățire, descoperită empiric de *Geiger* și *Nuttall* (cap. 11), își găsește explicația în acest cadru.

În sfîrșit, o realizare de proporții istorice a mecanicii ondulatorii a fost reducerea legăturii chimice dintre doi atomi identici sau asemănători la o „energie de schimb", realizată prima dată în 1927, într-o lucrare clasică a lui W. *Heitler* și F. *London* (1900—1954) despre molecula de hidrogen H_2. Această energie, care nu are analog în fizica mai veche, este o consecință matematică necesară a ecuației de undă a lui Schrödinger. Cu ajutorul aceleiași noțiuni, aplicată electronilor de conductibilitate în metale, Werner *Heisenberg* a rezolvat, curînd după aceea (1928), străvechea enigmă a feromagnetismului. Faptul că acesta se produce la fier, nichel, cobalt, nu însă la alte metale, prin orientarea paralelă a momentelor magnetice ale electronilor lor, este un „fenomen de schimb".

Dezvoltarea ulterioară a teoriei cuantice, în care este vorba, de exemplu, despre problema compatibilității reprezentărilor ondulatorii cu cele corpusculare, nu este încă destul de matură astăzi pentru a deveni

obiect al istoriei. Stăm aici la graniţa pe care am trasat-o expunerii noastre.

În orice caz, este o trăsătură caracteristică a actualei fizici cuantice că nu oferă pentru nici un proces altceva decît probabilitatea producerii sale într-un anumit interval de timp. Se calculează, bunăoară, probabilitatea pentru eliberarea unui electron de către lumină de o anumită intensitate şi de o anumită frecvenţă. Afirmaţii cauzal determinate depăşesc posibilităţile acestei teorii, care prezintă astfel o trăsătură pe care E. v. *Schweidler* (cap. 11) a găsit-o întîi pentru transmutaţia radioactivă, iar A. *Einstein* a extins-o mai tîrziu la absorbţia şi la emisia luminii. Oricum, legile de conservare a energiei şi impulsului îşi păstrează riguros valabilitatea şi în fizica cuantică.

După 1900, *Planck* s-a străduit, timp de mulţi ani, să umple prăpastia dintre fizica veche şi cea cuantică sau, cel puţin, să arunce o punte între ele. El a eşuat, totuşi încercarea sa a fost valoroasă, căci abia astfel s-a ajuns la convingerea imposibilităţii de a arunca această punte. Consecinţa acestui fapt este teoria lui Niels *Bohr* despre complementaritatea concepţiei corpusculare mai vechi asupra particulelor elementare şi a concepţiei cuantice ondulatorii asupra lor (1927). Astăzi, cercuri largi de fizicieni au aderat la această concepţie. Ce poziţie va adopta viitorul nu este o problemă a istoriei fizicii.

ANEXE

Max von Laue

DRUMUL MEU ÎN FIZICĂ (AUTOBIOGRAFIE)

Pline de perspicacitate, rudele mele au înţeles curînd că sînt destinat să fiu un „om de carte". Pe cînd aveam 9 sau 10 ani, bunicul meu Theodor Zerrener, care mă iubea mult, mi-a dăruit de crăciun ediţia în 10 volume a cărţii lui Brehm *Viaţa animalelor*. Îmi amintesc că mă uitam adesea la frumoasele ei ilustraţii, şi am păstrat pînă astăzi o idee clară asupra principalelor specii de animale. Dar n-am avut niciodată înclinaţie pentru biologie. L-am citit cu pasiune pe Brehm, pe cînd eram un băiat care nu se gîndea încă la chemarea lui. Mai tîrziu, mama a adus vorba o dată că aş putea să-mi aleg o carieră de jurist. Dar şi aceasta a rămas baltă, deoarece curînd s-au situat la mine pe primul plan interese de cu totul altă natură.

La liceul „Kaiser Wilhelm" din Berlin (unde ne-am mutat din Poznan în urma transferării tatălui meu) am auzit, nu mai ţin minte în ce ordine de idei, că se obţine cupru din piatră vînătă, sub acţiunea curentului electric. Acest prim contact cu fizica mi-a făcut o impresie uriaşă. Timp de cîteva zile, am căzut pe gînduri şi n-am mai putut face nimic, încît mama, îngrijorată, m-a întrebat

* Această autobiografie a apărut în cartea Hans Hartmann, *Schöpfer des neuen Weltbildes*, 1952.
Traducerea de faţă reproduce textul, publicat cu unele prescurtări, ca anexă la ediţia în limba rusă a *Istoriei fizicii* — *N. T.*

ce se întîmplă cu mine. Aflînd despre ce este vorba, ea m-a ajutat să pot frecventa des asociaţia de popularizare a ştiinţei, „Urania", în al cărei sediu de pe Taubenstrasse erau multe aparate de fizică pentru experienţe. Simpla apăsare a unui buton, în conformitate cu explicaţia anexată, dădea posibilitatea de a observa imediat cîte un fenomen instructiv. Abia mult mai tîrziu, în 1930, la Congresul de fizică de la Königsberg, am aflat că creatorul acestei metode didactice atît de impresionante era Eugen Goldstein, descoperitorul razelor canal ; el era cel ce construise această instalaţie experimentală. Totodată, am ascultat atunci cîteva conferinţe în sala „Uraniei". Îmi amintesc vag că am vizitat de cîteva ori şi observatorul asociaţiei, care se afla pe Invalidenstrasse. În 1913 sau în 1914 am ţinut şi eu o conferinţă la „Urania" şi mi-am amintit înduioşat de vremurile de mult trecute.

Am rămas la Berlin numai un an şi trei luni. După aceea, tata a fost mutat la Strasbourg. Am urmat acolo celebrul liceu protestant şi nu am avut motive să regret această schimbare a şcolii. În fruntea liceului, care aparţinea bisericii din Alsacia, se afla un pedagog de o înaltă cultură şi noblеţe sufletească, numit Feil. El îşi dădea bine seama că orice individualitate are dreptul să se dezvolte în conformitate cu dispoziţiile ei naturale. Cu toată orientarea puternic teologică a şcolii, el dădea atenţia cuvenită matematicii şi ştiinţelor naturii şi m-a apărat adesea împotriva altor profesori care nu încurajau înclinaţiile mele pentru matematică şi fizică. Mult timp după ce mi-am terminat şcoala am continuat să-l vizitez pe director la Jena, unde se retrăsese. A murit în 1938, în vîrstă de peste 80 de ani.

Merită toată lauda felul în care Feil îşi alegea corpul profesoral. Firеşte, în liceu erau şi oameni care au ră-

mas în urma timpului, incapabili să se adapteze noii situaţii politice şi să-şi găsească o altă ocupaţie. Erau oameni înrăiţi, care nu se bucurau de nici un fel de autoritate pedagogică. Dar Feil se străduia să le facă şi lor viaţa suportabilă. Avea oroare de presiunile politice şi, bineînţeles, nu le exercita niciodată. De exemplu, dacă vreun profesor îşi exprima îndoielile în legătură cu necesitatea de a ţine un discurs cu prilejul zilei de naştere a împăratului, Feil îl scutea imediat de această obligaţie.

Dintre membrii corpului didactic mi-a rămas în minte profesorul Erdmann, teolog, care, în afară de religie, preda limbile clasice şi germana. A fost, cred, cel mai înţelept dintre educatorii mei.

Aceasta reiese deosebit de clar din următoarele păreri exprimate de el. La limba germană, în clasele superioare se făcea, bineînţeles, istoria literaturii. Erdmann, căruia îi plăcea să depăşească prevederile programei analitice, ne-a vorbit o dată despre Richard Wagner şi despre *Inelul Nibelungilor*. Cu acest prilej, el a combătut cu pasiune morala lui Siegfried şi a prevăzut grozăviile pe care le-ar dezlănţui aplicarea ei în practică. Unul dintre preceptele sale glăsuia : „Cine se consacră cu entuziasm unei opere măreţe nu va dispărea fără urmă". De multe ori, în viaţa mea de mai tîrziu, am găsit confirmări ale acestor învăţăminte înţelepte ale profesorului meu.

De ce le povestesc toate acestea aici, unde ar trebui să descriu drumul creaţiei mele în fizică ? Acest drum nu poate fi despărţit de evoluţia spirituală generală, mai ales din anii în care copilul devine adolescent şi se formează bazele maturizării sale de mai tîrziu. De asemenea, mă îndoiesc că m-aş fi consacrat în întregime ştiinţei pure, dacă nu ar fi fost contactul cu cultura şi cu limba elină, ceea ce este posibil numai într-un liceu clasic. Pentru a atrage tineretul studios spre ştiinţă, in-

clusiv spre cercetarea naturii, într-o proporţie mai largă decît în ultimele decenii, propun : trimiteţi-vă copiii la liceul clasic şi lăsaţi-i să studieze acolo temeinic limbile antice.

Totodată însă, învăţaţi-i să-i citească şi să-i iubească pe clasicii germani. Ludwig Boltzmann, marele fizician de la Viena, care a murit în 1906, scrie în prefaţa lucrărilor sale de popularizare (1905) : „Desigur, fără Schiller aş fi putut să fiu un om cu nasul şi cu barba mea, dar nu aş fi fost eu". Subscriu în întregime la aceasta.

În această ordine de idei merită, cred, să amintesc că din generaţiile de elevi educaţi de Feil au mai ieşit cîţiva profesori universitari, şi anume : istoricii Wolfgang Windelband şi Robert Holzmann (ambii la Berlin), medicii Friedrich Holzmann (Karlsruhe) şi Wolfgang Weil (Jena), juristul Eduard Kohlrausch (Berlin), chimistul Walter Madelung (Freiburg), fizicienii Erwin Madelung şi Marianus Czerny (ambii la Frankfurt pe Main). Dar să revenim la subiect.

Profesorul Hering, care preda matematica şi fizica, a exercitat asupra mea o influenţă uriaşă. Era un celibatar bătrîn şi ciudat, cu o mie de extravaganţe, care ar fi făcut pe oricare altul incapabil să predea într-un liceu. Dar toate ciudăţeniile sale erau compensate de superioritatea sa spirituală, care îi silea pînă şi pe cei mai răi ştrengari din clasă — şi nu am fost „elevi model" — să-i dea ascultare. Era o imposibilitate să se pună la cale vreo obrăznicie în ora lui ; aşa ceva nici nu ne venea în gînd. De aceea, el nu avea niciodată nevoie să ne pedepsească sau să ne admonesteze. Tot ce-mi pot aminti sînt cuvintele cu care a apostrofat pe un leneş : „Huber zîmbeşte, da, Huber zîmbeşte". Lui Huber i-a pierit de îndată zîmbetul. Tineretul are un simţ puternic pen-

tru valoarea spirituală şi îi acordă respectul cuvenit.

Am făcut cu profesorul Hering matematica elementară, şi trebuie să spun că am devenit curînd unul dintre cei mai buni elevi. Am studiat matematica obişnuită din şcoală : algebra, inclusiv ecuaţia de gradul doi, geometria lui Euclid şi a altor geometri din antichitate, calculul cu logaritmi şi trigonometria etc. Am uitat multe, dar cînd am avut de-a face o dată cu celebra problemă a lui Apollonius despre arcele tangente, am fost pe deplin capabil să mi-o însuşesc din nou. În acest stadiu nu este atît de importantă dobîndirea cunoştinţelor, cît dezvoltarea aptitudinilor gîndirii ştiinţifice. „Cultura este ceea ce rămîne după ce am uitat tot ce am învăţat" — sună un aforism foarte frecvent citat al nu mai ştiu cărui om mare. Aşa ne învăţa Hering. El s-a convins curînd de talentul meu pentru matematică şi m-a stimulat să învăţ prin diverse mici încurajări.

Printr-o uimitoare contradicţie, eram total incapabil în domeniul calculului aritmetic. La examenul de absolvire a liceului, cînd trebuia să rezolvăm în lucrarea scrisă mai multe probleme, dintre care şi una cu calcule aritmetice profesorul (nu mai era Hering) mi-a spus : „Lasă această problemă ; oricum n-are să-ţi iasă nimic". Abia la universitate mi-am însuşit acest calcul şi m-am străduit să-l efectuez corect, deoarece era indispensabil pentru studiile mele de fizică.

Tot la Hering am studiat pentru prima dată cu seriozitate fizica. Principala influenţă au exercitat-o asupra mea, nu rarele experienţe cu mijloacele insuficiente ale laboratorului şcolar, ci aptitudinea profesorului de a dezvolta gîndirea ştiinţifică a elevului. De asemenea, a avut o mare importanţă că el ştia să ne recomande lecturile corespunzătoare. În urma sfatului său, mi-am procurat, în octombrie 1896, conferinţele

şi discursurile lui Helmholtz, şi mai ţin minte şi astăzi cum Hering, în dialectul său turingian, mi-a vorbit despre aceste două volume : „Sînt lucrări de popularizare, dar pentru oameni cu cap". Am studiat cu mult zel aceste conferinţe şi am recitit ceea ce îmi era greu de înţeles.

Datorită acestor lucrări, precum şi datorită *Teoriei perceperii tonurilor* a lui Helmholtz, orizontul meu s-a lărgit considerabil. Aceasta este o lucrare clasică, atît prin conţinut, cît şi prin formă. Nu m-am limitat la lectura conferinţelor consacrate fizicii. Am citit şi discursurile academice jubiliare şi m-am bucurat la gîndul că voi putea să frecventez mai tîrziu universitatea ca student. Dar cel mai mult mi-a plăcut minunata autobiografie a lui Helmholtz din discursul rostit cu prilejul aniversării a 70 de ani de la naşterea sa. Am încercat, de asemenea, cu mai puţin succes, să-i citesc conferinţele filozofice.

Dar aceşti ani de şcoală nu ar fi exercitat o influenţă atît de hotărîtoare asupra evoluţiei mele ulterioare, dacă nu m-aş fi împrietenit cu doi colegi : Otto B. şi Hermann F., care aveau aceleaşi înclinaţii ca şi mine. Pe baza intereselor noastre comune, am format un triumvirat matematic, binecunoscut în întreaga şcoală. Unul dintre prietenii mei, Otto B., provenea dintr-o familie de înaltă cultură, era fiul unui profesor de la Universitatea din Strasbourg. Am avut puţin de-a face cu părinţii şi cu fraţii şi surorile lui mai mari. Dar Otto B. avea un dar uimitor de a reţine fidel ceea ce auzea acasă şi ne-o expunea apoi într-un mod foarte interesant. Citea cu multă înţelegere numeroase lucrări de matematică şi din domeniul ştiinţelor naturii, care se aflau în casa părinţilor săi, ştiind să trezească şi în noi dragostea pentru acest gen de lectură. Studiam în

tainã, toţi trei, calculul diferenţial şi integral, cotrobăiam prin numeroasele volume ale manualului de fizică al lui Wüllner şi ne ocupam cu diverse experimente, cum fac de obicei băieţii.

Experimentele noastre au început să fie deosebit de reuşite cînd am putut să cumpărăm o mică bobină de inducţie şi să obţinem cu ea tensiuni electrice mai mult sau mai puţin înalte. La începutul anului 1896 am aflat despre marea descoperire a lui Röntgen, din celebra sa broşură, pe care Hermann F. o primise curînd după apariţie de la un unchi librar. Ne-am procurat tuburi de descărcări de tip primitiv şi am încercat să găsim în ele (firește, zadarnic) misterioasele radiaţii X, cum li se spunea pe atunci. Deoarece apartamentele părinţilor noştri nu erau conectate la reţeaua electrică a oraşului, foloseam ca surse de curent un element Bunsen şi un element cu acid cromic. Diversele chimicale au făcut destule găuri în hainele noastre. Îmi amintesc deosebit de bine de un galvanometru confecţionat de noi, cu multe spire şi cu o pereche de ace astatice, suspendate de un fir. Aceste experimente mi-au dat siguranţa, pe care n-am putut-o obţine în experienţele şcolare, că curentul de descărcare al buteliei de Leyda deviază acul magnetic. Ne-am ocupat mult de fenomenele optice, în special de interferenţa luminii şi de difracţie, care mai constituia pe atunci o enigmă. Marea atracţie a studiului acestor fenomene fizice constă în posibilitatea de a le percepe direct cu simţurile, fără instrumente de măsură. Interesul meu deosebit pentru optică, care s-a manifestat mai tîrziu în lucrările din domeniul radiaţiilor Röntgen, provine tocmai din aceşti ani de şcoală.

Petreceam adesea toţi trei, ore pasionante în mansarda casei părinteşti a lui Otto B., de pe Goethestrasse.

De la fereastră se desfăşura în faţa ochilor parcul universitar, pînă la Pădurea Neagră, care se vedea la orizont sub forma unei benzi albastre. Adesea făceam toţi trei excursii într-acolo şi în Munţii Vosgi, care durau una sau mai multe zile. În general, nu eram sedentari ; parcurgeam cu bicicleta distanţe mari prin şesul Rinului, înotam în Rinul mare sau mic, lîngă Kehl. Am trecut adesea rîul înot, ceea ce era destul de uşor, datorită numeroaselor bancuri de nisip. Libertatea pe care ne-o lăsau educatorii noştri acasă şi la şcoală ne dădea posibilitatea de a face astfel de plimbări în afara oraşului.

Toată frumuseţea drumeţiei noastre consta în această libertate. În prealabil, alcătuiam singuri planurile, cercetam hărţile şi indicatoarele geografice, apreciam posibilităţile noastre de a ne orienta în munţi pe zăpadă şi ceaţă. Excursiile acestea ne-au dezvoltat muşchii şi au jucat un rol şi în maturizarea noastră spirituală.

Din nefericire, triumviratul nu s-a menţinut pînă la examenele de absolvire. Cu un an înainte, Otto B. s-a mutat la un liceu din Baden ; o maladie nervoasă ereditară i-a răpit posibilitatea de a se ocupa de ştiinţă după examenul de absolvire şi l-a condus, în cele din urmă, la sinucidere, în 1904. Nu l-am uitat niciodată şi simt pînă astăzi în munca mea puternica influenţă pe care a exercitat-o asupra mea. Dacă rămînea sănătos, el ar fi devenit un profesor universitar eminent, care ar fi fost un exemplu pentru studenţi şi ar fi ajuns, poate, şi un mare cercetător. Este înmormîntat la Strasbourg.

Am dat examenul de maturitate în martie 1898. Deoarece eram pregătit în mod corespunzător, am aşteptat examenele într-o stare de spirit calmă, bine

dispus, spre deosebire de enervarea celor mai mulţi dintre colegii mei la aceste examene. În aceeaşi stare de spirit mi-am dat, în 1904, examenele de stat la Göttingen şi am urmărit cu o oarecare ironie importanţa pe care şi-o dădeau în această chestiune unii candidaţi şi examinatori. În diploma de maturitate am obţinut calificativele „bine" la religie, latină şi elină, „suficient" la germană, franceză şi istorie, „foarte bine" la matematică şi la fizică. În privinţa limbii germane, diploma purta următoarea menţiune: „Laue a dat dovadă de cunoştinţe corespunzătoare cerinţelor şi şi-a făcut cîteodată bine lucrările. Nivelul său intelectual este, în ansamblu, superior aptitudinii sale de a se exprima oral şi în scris. Lucrarea de examen a făcut-o satisfăcător". Este cît se poate de adevărat. Toată viaţa am simţit ceea ce-l făcea să sufere pe Schiller: „Sufletul vorbeşte, dar, vai, el nu se poate exprima". Să vorbesc o limbă străină a fost pentru mine totdeauna o tortură şi n-am reuşit niciodată să fac o comunicare cursivă şi corectă din punctul de vedere al exprimării.

În lista examenelor pentru diploma de maturitate, pe care am reprodus-o mai sus, cititorul va remarca imediat lipsa limbii engleze. În liceele germane de atunci, engleza nu era obiect de studiu; ulterior, am resimţit totdeauna acest lucru ca o importantă lacună în cultura mea. După anii de şcoală, am învăţat engleza, folosind reviste şi cărţi ştiinţifice, de care aveam tot mai multă nevoie. Am petrecut cîteva luni în America şi acolo mi-am întărit deprinderile în domeniul limbii engleze. După terminarea liceului m-am ocupat mai puţin de limba franceză. Şi totuşi, ştiu astăzi mai bine franceza decît engleza. „*Was Hänschen nicht*

lernt, lernt Hans nimmermehr" *. Desigur, rolul esențial l-au jucat aici aptitudinile mele slabe pentru studiul limbilor ; de aceea, a fost pentru mine o deosebită fericire că liceul m-a înarmat cu cunoașterea gramaticii și a diverselor forme de exprimare, în perioada cînd îmi era cel mai ușor să le învăț. Aceasta a compensat într-o anumită măsură insuficiența aptitudinilor mele.

La cîteva zile după terminarea examenelor de maturitate mi-am început serviciul militar, și deci mi-am întrerupt dezvoltarea intelectuală. Totuși, în semestrul de iarnă 1898/1899 am avut posibilitatea să frecventez cursul de fizică experimentală pe care-l ținea Ferdinand Braun la Universitatea din Strasbourg. Țin minte pînă astăzi strălucitele sale experiențe, expunerea sa elegantă și adesea spirituală. Urmăream experiențele și ascultam prelegerile cu entuziasm. Ce e drept, serviciul militar mă împiedica uneori să vin la timp la prelegeri. Cînd întîrziam, intrarea mea atrăgea atenția sălii și producea oarecare tulburare, mai ales pentru că eram în uniformă. Aceasta a dat prilej unei întîmplări caracteristice pentru felul de a fi al lui Braun. Nu vreau să ascund cititorilor această întîmplare, cu atît mai mult cu cît, atunci cînd i-am povestit-o lui Braun, peste cîteva zeci de ani, la un congres de fizică, el a rîs din toată inima.

La sfîrșitul semestrului, studenții trebuiau să-și ia viza de frecvență ; aceasta trebuia să fie dovada că asistaseră cu regularitate la prelegeri. Este de la sine înțeles că Braun, care avea sute de studenți, nu putea ști cum a frecventat fiecare. Stătea la masă în camera de lîngă sala de curs ; studenții se prezentau unul după

* „Ceea ce nu a învățat Ionică, nu mai învață niciodată Ioan" — *N. R.*

altul în faţa mesei, cu caietele de cursuri în mînă, iar el le semna mecanic, fără a se uita măcar la numele posesorului. Cînd m-am apropiat în uniformă de masă, mi-a aruncat în treacăt o privire şi a spus, oftînd ironic: „O, da! Că dumneata ai frecventat, pot atesta".

Ulterior, am făcut tot posibilul pentru a urma cursurile cu regularitate. Cînd întîrziam, îmi venea foarte greu să urmăresc ideea profesorului, mai ales la prelegerile de matematică. Nu am înţeles niciodată cum pot studenţii să întîrzie la cursuri, bunăoară din cauza obligaţiilor lor sociale din cadrul corporaţiei. Mie mi-era gîndul numai la ştiinţă.

Da, dar ce ştiinţă anume? În primul semestru era pentru mine o mare problemă. De la început era limpede că mă atrag ştiinţe ca matematica, fizica şi chimia. În toate aceste materii am urmat numeroase cursuri, întîi la Strasbourg, apoi (începînd din toamna anului 1899) la Göttingen. La fizică şi la chimie am făcut mai multă practică decît cineva care-şi cunoştea cu precizie ţelul şi se străduia să-l atingă în cel mai scurt timp. La Göttingen, sub influenţa lui Woldemar Voigt, mi-a devenit în sfîrşit clar care îmi este vocaţia: fizica teoretică. În afară de cursul lui Voigt, au mai contribuit la hotărîrea mea lecţiile publicate atunci ale lui Gustav Kirchhoff, pe care mi le recomandase încă în liceu Otto B. Despre primul volum al acestor prelegeri, consacrat mecanicii, mi-a vorbit, în repetate rînduri, şi prof. Hering. Factorul decisiv a fost pentru mine înţelegerea următorului fapt uimitor: cît de multe se pot spune despre natură cu ajutorul metodelor matematicii. Priveam cu cel mai mare respect teoria, care arunca uneori o lumină strălucitoare şi neaşteptată asupra unor fapte anterior neînţelese,

Mi-a făcut o puternică impresie şi matematica pură, îndeosebi cînd am audiat strălucitele cursuri ale lui David Hilbert. În amintirea mea, acest om a rămas cel mai mare geniu pe care l-am cunoscut vreodată. Matematica ne face să înţelegem adevărul în modul cel mai pur şi mai direct ; pe aceasta se bazează valoarea ei pentru cultura generală a oamenilor. Încă în şcoală, una dintre cele mai mari bucurii ale mele consta în a duce la bun sfîrşit o demonstraţie riguroasă şi elegantă. Şi totuşi, matematica m-a interesat totdeauna doar în măsura în care puteam, în vreun fel, s-o aplic la fizică. Altfel, studiul matematicii îmi apărea ca „o plutire în vid", un efort care nu se aplică nici unui obiect. Alţi fizicieni teoreticieni privesc în alt mod matematica şi, ocupîndu-se propriu-zis de matematică, ajung pe această cale la succese importante în fizică. Dar, după cum am mai spus, preocuparea pentru matematica pură nu mi se potriveşte şi este un fapt cu care trebuie să mă împac.

Deşi cursurile au exercitat asupra mea o mare influenţă, am aflat din cărţi mai mult decît din cursuri. Ceva vorbit nu mi-a lăsat niciodată impresia pe care mi-o dădea ceva scris negru pe alb. O lectură poate fi întreruptă cînd vrem, pentru ca să meditäm asupra celor citite. La o conferinţă, te simţi totdeauna legat de gîndirea vorbitorului şi pierzi firul dacă încetezi să-l urmăreşti o clipă. În multe cazuri, prelegerile au fost pentru mine doar un stimulent care mă îndemna să aprofundez cărţile corespunzătoare.

În acest semestru, ca şi mai tîrziu mi-a provocat dificultăţi deosebite, dar şi o mare bucurie, teoria electricităţii şi a magnetismului a lui Maxwell, care obţinuse cu cîţiva ani în urmă recunoaşterea unanimă în Germania. Mie, ca şi altora, această teorie mi-a dezvăluit o lume nouă. Înţelegerea modului în care diferite fenomene

complexe se reduc matematic la minunatele ecuaţii simple şi armonioase ale lui Maxwell este una dintre cele mai impresionante trăiri accesibile unui om. Boltzmann a citat odată următoarele versuri, în legătură cu aceste formule :

„War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb,
die mir das innre Toben stillen,
die Kräfte der Natur rings um mich her enthüllen ?"

(„Să fi fost oare un zeu cel ce-a scris aceste semne, care au calmat neliniştea sufletului meu şi mi-au dezvăluit taina forţelor naturii ?"). Studiul acestei teorii nu a dăunat cîtuşi de puţin preocupărilor mele în domeniul opticii ; dimpotrivă, interpretarea opticii ca parte a electrodinamicii a contribuit la studiul ei mai profund.

Am rămas la Göttingen patru semestre ; în iarna 1901/1902 am intrat la Universitatea din München. În perioada aceea însă nu m-am putut alege acolo cu mult, în calitatea mea de fizician teoretician. Catedra lui Boltzmann mai era vacantă. Mi-au rămas în minte numai lecţiile lui Alfred Pringsheim asupra teoriei funcţiilor şi lucrările practice de fizică ale lui W. C. Röntgen, în timpul cărora Röntgen mi-a verificat foarte amănunţit şi cu o vădită satisfacţie cunoştinţele. Tot atunci, am cunoscut pentru prima dată Alpii pe timp de iarnă. În perioada vacanţelor de vară, făcusem de multe ori excursii de lungă durată prin munţi cu Hermann F. şi Otto B., care mai era pe atunci sănătos. Dar excursiile în munţi iarna erau pentru mine ceva nou şi minunat. Păcat că pe vremea aceea schiul încă nu era răspîndit în Germania. Înaintam cu greu, cufundîndu-ne adînc în zăpada moale, prin Rofangebirge, şi trebuia să folosim săniuţe pentru a ajunge de la Brünstein la Wendelstein. Noi, înseamnă membrii societăţii de matematică din Mün-

chen, din care am făcut parte, după cum făcusem parte înainte la Göttingen şi aveam să fac parte mai tîrziu la Berlin. În aceste asociaţii ştiinţifice domnea un spirit sănătos. Am învăţat să schiez abia în 1906, pe Feldberg, sub conducerea lui Paul Drude şi Willy Wien. Dar nu mai eram suficient de tînăr pentru a putea ajunge la măiestrie ; am reuşit doar să mă simt sigur în timpul excursiilor în munţi şi era suficient pentru ca acest sport minunat să-mi procure o mare bucurie. În fiecare an, în luna martie, pînă la izbucnirea războiului mondial, plecam cu Wien într-o excursie cu schiurile pe Mittenwald (Paul Drude a murit în vara anului 1906). Amintirea acestor savanţi eminenţi, care cunoşteau şi bucuria sportului, face parte dintre cele mai plăcute amintiri ale acelei perioade din viaţa mea.

În vara anului 1902 m-am mutat la Berlin. Mă atrăgeau acolo, în primul rînd, vechii mei prieteni din anii de şcoală, Hermann F., care-şi pregătea pe atunci teza de doctorat în chimie, şi Otto B., care făcea tot timpul încercări desperate de a se ocupa de cercetări ştiinţifice. Am ajuns la Berlin abia la sfîrşitul lui iunie (primele opt săptămîni ale semestrului au fost înghiţite de instrucţia militară), dar am obţinut înmatricularea fără dificultăţi prea mari.

M-am dus imediat la cursul de optică teoretică al lui Planck. Îl cunoşteam ca autor al manualului de termodinamică şi ştiam că se ocupase mult de optică. Dar nu ştiam nimic despre cea mai mare dintre realizările sale : descoperirea legii radiaţiei (în 1900) şi explicarea ei pe baza teoriei cuantelor ; erau pe atunci cercetări încă neconsacrate şi, de aceea, insuficient cunoscute.

Am putut înţelege cu uşurinţă prelegerea, deşi făcea parte dintre capitolele finale ale cursului, deoarece urmasem lecţiile lui Voigt în acest domeniu. Am reuşit

chiar să atrag asupra mea atenţia lui Planck, datorită soluţiei elegante pe care am dat-o unei probleme puse de el ca exerciţiu la curs. Concomitent, frecventam micul ciclu de prelegeri ale lui O. Lummer, consacrate unor „probleme speciale de optică". Era vorba despre fenomenele de interferenţă, mai ales la o reţea, la o reţea cu trepte şi la lame plan-paralele. Tocmai atunci, Lummer introdusese împreună cu Gehrke în spectroscopie lamele de sticlă plan-paralele. Lummer era membru în conducerea Institutului de stat de fizică tehnică şi a adus de acolo la Institutul de fizică al universităţii, unde-şi ţinea cursurile, aparate foarte perfecţionate pentru efectuarea experienţelor. El a contribuit la dezvoltarea înclinaţiei mele pentru optică, care s-a dovedit ulterior atît de utilă pentru activitatea mea. L-am rugat pe Planck să-mi dea subiectul pentru teza de doctorat. Ţinînd seama de ciclul de prelegeri amintit mai sus, mi-a dat un subiect din teoria interferenţei pe lame plan-paralele. Am lucrat la teză pînă în vara lui 1903. În luna iulie a aceluiaşi an mi-am dat cu mult succes examenul de doctorat la matematică şi, după cum era tradiţia, la filozofie ca specialitate secundară. Este o situaţie în legătură cu care trebuie să spun cîteva cuvinte.

N-am urmat niciodată un curs de filozofie, dar m-am ocupat mult şi profund de filozofia lui Kant. La început am citit expunerea asupra ei din *Istoria filozofiei* a lui Kuno Fischer, iar după aceea am recitit de multe ori *Critica raţiunii pure* a lui Kant, precum şi alte dintre scrierile sale, mai ales din domeniul eticii. Stimulentul pentru aceste studii mi l-a dat, încă în anii liceului, Otto B., dar cred că abia în anii de universitate am devenit suficient de matur pentru a înţelege filozofia. Ea mi-a transformat cu totul existenţa ; chiar şi fizica mi se pare de atunci ştiinţa al cărei merit autentic constă în faptul

că oferă filozofiei importante mijloace auxiliare. Sînt de părere că toate ştiinţele trebuie să se grupeze în jurul filozofiei, care este centrul lor comun, şi că servind filozofia ele îşi îndeplinesc scopul care le este inerent. Aşa şi numai aşa poate fi menţinută unitatea culturii ştiinţifice, în opoziţie cu specializarea în continuu progres a ştiinţelor. Fără această unitate, întreaga cultură ar fi sortită pieirii.

Decernarea unui titlu academic se desfăşura atunci într-o formă foarte solemnă. Între altele, decanul dădea citire formulei jurămîntului în care figurau cuvintele: „Te solemniter interrogo, an fido data polliceri et confirmare religiosissime contitueris, te artes honestas pro virili parte tueri, provehere atque ornare velle; non lucri causa neque ad vanam captandam gloriolam, sed quo divinae veritatis lumen latius propagatum effulgeat?“ [1] M-am străduit întotdeauna să respect jurămîntul din această formulă.

În timp ce lucram la teză, am mai urmat cursul de termodinamică al lui Planck, precum şi prelegerile sale cu adevărat remarcabile în domeniul teoriei gazelor şi radiaţiei termice. Mi-au făcut atunci o deosebită impresie principiul lui Boltzmann referitor la relaţia dintre entropie şi probabilitate, legea de deplasare a lui Wien şi demonstraţia perfectă pe care i-o dăduse Planck, precum şi, în sfîrşit, modul plin de îndrăzneală în care Planck dedusese legea radiaţiei din ipoteza cuantelor de energie. La aceasta se adăuga farmecul personal al acestui om, pe care-l simţea fiecare dintre ascultătorii săi.

[1] „Te întreb în mod solemn: te-ai hotărît oare să făgăduieşti prin jurămînt şi să întăreşti în modul cel mai sacru că doreşti, pe măsura forţelor tale, să te ocupi de artele nobile, să le faci să progreseze şi să le înfrumuseţezi; şi că-ţi vei împărtăşi cunoştinţele, nu pentru cîştig sau pentru o glorie deşartă, ci pentru ca să se răspîndească mai larg lumina adevărului divin?“

Toate acestea au întărit în mine sentimentul că Universitatea din Berlin este patria mea spirituală.

Universitatea, dar nu oraşul. Am privit totdeauna cu antipatie marile oraşe. De aceea, pentru a-mi continua studiile, lucru pe care-l consideram indispensabil, m-am mutat în orăşelul tipic care este Göttingen, unde am mai stat patru semestre. Am urmat aici cursul lui Max Abraham despre teoria electronică — dezvoltarea atomistă a teoriei lui Maxwell — şi optica geometrică la Karl Schwarzschild. Aceasta din urmă m-a condus prea departe într-o direcţie specială. În acelaşi timp, mi-am dat examenul de stat pentru dreptul de a preda într-o instituţie de învăţămînt secundar. Aceasta am făcut-o printre alte preocupări şi am fost uimit constatînd că-l luasem cu nota „bine".

Deoarece alesesem ca specialitate pentru examen chimia, trebuia, conform regulamentelor, să mai dau şi un examen de mineralogie. Era un obiect de care nu mă ocupasem niciodată. În primele semestre la Göttingen am făcut o încercare timidă de a urma un curs de mineralogie, dar am renunţat curînd. Mi-am însuşit apoi din cărţi elementele cristalografiei, adică propriu-zis cunoaşterea claselor de cristale. Aceasta era tot. Examenul se dădea cu un geolog, prof. Köhnen, şi-mi amintesc pînă astăzi cum îi creştea buna dispoziţie, pe măsură ce se convingea de totala mea ignoranţă. Comisia m-a declarat admis, datorită cunoştinţelor mele în domeniul chimiei, neobişnuite pentru candidaţii care se prezentau la examenele de stat. La aceasta a contribuit şi înţelegerea clară a faptului că niciodată nu voi face uz de acest examen.

Prin ce se explică această mare lacună a pregătirii mele în domeniul fizicii, pe care o prezentau, de altfel, şi fizicieni mai în vîrstă sau mai tineri decît mine? În

învățămîntul universitar, cristalografia era aproape total dizolvată în cursurile de mineralogie, care se ocupau mai ales de latura descriptivă. În cursurile de fizică, cristalele erau menționate de obicei la optică și, în mică măsură, la teoria elasticității. Și aceasta era tot. Voigt, care făcuse atît de mult pentru fizica cristalelor, proceda și el în același mod. Lucrarea sa fundamentală din domeniul fizicii cristalelor a apărut abia în 1910. Faptul că nu eram împovărat de cunoștințe a avut, poate, o consecință binefăcătoare, în sensul că, mai tîrziu (în 1912), am putut aborda problemele fizicii cristalelor fără nici un fel de idei preconcepute. Mult mai tîrziu, pe cînd eram la Frankfurt (1914—1918), mi-am împlinit într-o anumită măsură această lacună, dar n-am putut ajunge niciodată la vederea în spațiu pe care o posedă cei ce s-au ocupat în tinerețe de fizica cristalelor. M-a impresionat însă dragostea adevăraților cristalografi pentru obiectul lor, despre care Voigt scrie cu emoție în prefața cărții sale.

În toamna anului 1905, Planck mi-a propus un loc de asistent, devenit vacant la Institutul de fizică teoretică. Am acceptat cu recunoștință și am stat în acest loc trei ani. Activitatea mea consta în administrarea bibliotecii institutului și în corectarea lucrărilor scrise pe care Planck le dădea săptămînal studenților după prelegerile sale. Seara, el îi cerea asistentului o dare de seamă asupra acestor lucrări și alegea dintre ele pe cele care meritau mai multă atenție, pentru a le discuta apoi la seminar. Am făcut cu religiozitate aceste lucrări pe cînd eram student. Dar pot spune că revizuirea unor lucrări străine era și mai instructivă, pentru că, în felul acesta, îmi dădeam seama care sînt erorile și confuziile posibile. Iar principalul era că puteam sta de vorbă cu Planck despre aceasta, precum și despre alte probleme. Tot în

această perioadă începe activitatea mea științifică. E drept că încă la Göttingen publicasem o cercetare legată de ipoteza lui Planck asupra radiației naturale. Această cercetare se ocupa de propagarea radiației naturale în medii dispersante. Acum însă (iarăși urmîndu-l pe Planck) am putut înțelege mai profund reversibilitatea reflexiei și a refracției razei luminoase.

Formula lui Planck pentru entropia unui fascicul luminos arăta în mod clar că repartizarea energiei unei raze între două raze asemănătoare cu ea din punct de vedere geometric (și avînd deci, de exemplu, aceeași lungime) este legată de creșterea entropiei, deoarece se considera că entropiile lor se adună. Dacă lucrurile stau astfel, conform principiului al doilea al termodinamicii, desfacerea razei într-o rază reflectată și una refractată este un proces ireversibil. Dar cercetarea optică simplă a interferenței a arătat că, datorită coerenței lor, cele două raze pot fi din nou reunite într-una singură, care nu se va deosebi de loc de raza inițială. Era o problemă grea. Este în genere aplicabil principiul al doilea la fenomenele optice?

Explicația a fost dată de sus-amintitul principiu al lui Boltzmann referitor la relația dintre entropie și probabilitate. Datorită acestui principiu a devenit clar că aditivitatea entropiei trebuie să conteze pentru raze necoerente, dar este inaplicabilă unor raze coerente. Entropia celor două raze apărute dintr-o singură rază prin reflexie și refracție este exact egală cu entropia razei inițiale.

Cînd, după discuția decisivă avută cu Planck asupra acestei probleme în casa din Grunewald, am plecat de acolo, am constatat după o oră că mă aflam în Tiergarten; nu puteam însă înțelege cum ajunsesem și ce căutam acolo. Atît de puternic era sentimentul care mă stăpînea.

Nu intenţionez să relatez aici în amănunte fiecare fază a cercetării mele. Ştiu din alte biografii că aceasta este ceva arid, care poate fi, în cel mai bun caz, numai pe placul istoricilor ştiinţei. Totuşi, voi aminti aici unele puncte principale.

În 1905, cînd m-am întors la Berlin, l-am auzit pe Planck, la unul dintre primele cursuri de fizică ale semestrului de iarnă (poate că era chiar primul), anunţînd că în septembrie apăruse lucrarea lui Einstein *Cu privire la electrodinamica corpurilor în mişcare.* Transformarea spaţiului şi a timpului, pe care o efectua teoria relativităţii, expusă în această lucrare, mi s-a părut neobişnuită. Nici eu nu am fost străin de îndoielile pe care, mai tîrziu, alţi fizicieni le-au exprimat pe faţă. Dar aceste idei „au lucrat" în mine şi ulterior, cînd am făcut o serie de cercetări proprii, sub conducerea lui Planck. Astfel, în 1907 am putut arăta că celebrul experiment al lui Fizeau asupra interferenţei în medii în mişcare, care era considerat pînă atunci drept o dovadă incontestabilă a existenţei eterului luminos, poate fi încadrat într-o teorie care neagă existenţa unei astfel de cuasimaterii ; tot astfel, nu s-a adeverit nici compunerea vitezei luminii cu cea a corpurilor, care era considerată pînă atunci ca ceva de la sine înţeles.

Nu ştiu dacă numai aceasta sau şi altceva a făcut ca, în anul 1910, editura „Fr. Vieweg & Sohn să-mi propună să scriu o monografie asupra teoriei relativităţii. Am scris-o şi am ajuns astfel autorul primei expuneri sistematice a acestei teorii. Cartea mea a fost bine primită, ceea ce a determinat reeditarea ei de patru ori în timp de un an. Am scris-o cînd m-am mutat, în 1909, din Berlin la Universitatea din München, într-o modestă casă de pescari de pe malul lacului din apropierea parcului, de unde se deschidea o privelişte minunată

spre livezi şi spre munţi. Niciodată nu m-am mai simţit atît de bine ca atunci.

La Universitatea din München mai lucra, pe atunci, în afară de Röntgen, Arnold Sommerfeld, care fusese invitat în urmă cu cîţiva ani să preia catedra vacantă a lui Boltzmann. Acest profesor remarcabil exercita o influenţă imensă asupra studenţilor săi. Între altele, el expunea şi teoria radiaţiilor Röntgen, în care dădea o interpretare proprie generării acestor raze pe anticatodul tubului ; ulterior, această teorie a fost confirmată. Ea se situa integral pe punctul de vedere al interpretării ondulatorii a radiaţiilor Röntgen, contrazicînd deci teoria corpusculară pe care W. H. Bragg o susţinea cu energie în Anglia. Materialul pentru rezolvarea disputei dintre aceste două concepţii a fost furnizat de experimentele lui Walter şi Pohl, făcute la Hamburg, asupra difracţiei radiaţiilor Röntgen printr-o fantă în formă de pană. Această difracţie a fost cercetată fotometric de P. P. Koch, primul asistent al lui Röntgen. Sommerfeld a aplicat cu succes teoria difracţiei şi a reuşit să obţină valoarea medie a lungimii de undă, ce e drept într-o aproximaţie grosolană, dar încă utilizabilă astăzi (lucrarea sa a apărut în 1912). În prelegerile sale, el a vorbit despre dovada polarizării radiaţiilor Röntgen, adusă de Barkla, precum şi despre radiaţia Röntgen caracteristică a elementelor chimice. Aşadar, am trăit acolo într-o atmosferă saturată de problemele referitoare la natura radiaţiilor Röntgen.

Röntgen personal s-a ţinut întrucîtva deoparte în această discuţie. În timpul verii, el nu locuia la München, ci la Weilheim, situat la 60 kilometri la sud de München. Pentru a-şi ţine cursul, făcea zilnic drumul dus şi întors la München. În plus, el îşi conducea institutul, în care apăreau lucrări valoroase ale asis-

tenţilor şi ale doctoranzilor săi. Mai lucra şi el ; de exemplu, împreună cu Ioffe, a cercetat unele probleme din fizica cristalelor, care-l preocupau de mult. Era însă extrem de precaut cu publicarea rezultatelor sale ; căuta tot timpul noi confirmări, şi, de aceea, lucrarea nu se mai termina. Nu venea la colocvii şi, în general, participa prea puţin la cercetările cele mai recente. Avea o atitudine de uşoară ironie faţă de unele teorii. După experimentele lui Friedrich şi Knipping, el a refuzat categoric, mult timp, să recunoască explicaţia interferenţei. Dimpotrivă, după cum ştiu dintr-o sursă sigură, el a sesizat imediat importanţa camerei pentru cercetarea radioactivităţii, pe care C. T. R. Wilson a propus-o în 1919, şi i-a dat o înaltă apreciere. Personal, am avut ocazia să stau liniştit de vorbă cu Röntgen doar o singură dată. S-a întîmplat în timpul unei călătorii la Feldafing, într-un tren supraaglomerat, unde am găsit singurul loc liber într-un compartiment de clasa a III-a în faţa locului pe care-l ocupa Röntgen. Am avut atunci impresia că am putea să ne înţelegem bine dacă s-ar ivi prilejul.

În 1919 am mai stat o dată de vorbă cu Röntgen. Am intrat la el în institut, tocmai în momentul cînd se pregătea să se întoarcă la Weilheim. L-am condus pe jos pînă la gară. Dar nu mi-a vorbit despre probleme ştiinţifice. Şi-a exprimat bucuria în legătură cu simptomele de reinstaurare a ordinii şi examina cu vădită încîntare sistemele de fisuri foarte frumoase care înconjurau găurile făcute de gloanţe în geamurile vitrinelor.

Se pune adesea întrebarea de ce acest om s-a abţinut cu atîta încăpăţînare să publice lucrări ştiinţifice după remarcabila sa descoperire din 1895/1896. S-au citat numeroase motive care să explice acest fapt, dintre care

unele nu erau de loc favorabile lui Röntgen. Consider că toate aceste motivări sînt false. După părerea mea, impresia pe care i-a lăsat-o descoperirea făcută cînd avea 50 de ani a fost atît de covîrşitoare, încît nu s-a mai putut elibera niciodată de sub puterea ei. Este în afară de orice îndoială că o mare realizare spirituală îl apasă pe cel ce a înfăptuit-o. În afară de aceasta, la fel cu alţi cercetători, Röntgen a trecut prin foarte multe neplăceri din cauza diverselor trăsături urîte ale oamenilor. Ne putem da seama cît de mare a fost descoperirea lui Röntgen prin faptul că foarte mulţi fizicieni, adesea remarcabili, care au experimentat înaintea lui cu aceleaşi mijloace, nu au izbutit să descopere aceste radiaţii. O astfel de ofensivă împotriva unui domeniu total necercetat cere, în afară de o privire ageră, multă bărbăţie şi stăpînire de sine, care permite savantului să-şi conserve calmul şi spiritul critic, în ciuda bucuriei şi a emoţiei descoperirii. Röntgen a trebuit să muncească mult pentru a scrie în perioada 1895/1897 trei articole, care au tratat subiectul atît de complet, încît timp de un deceniu nu i s-a putut adăuga nimic nou. Cu cîtă minuţiozitate genială au fost scrise aceste articole! Cunosc foarte puţine lucrări consacrate unei descoperiri în care numărul lacunelor să fie atît de mic. La Röntgen totul a fost în cea mai perfectă ordine.

Pentru mine a avut o deosebită importanţă faptul că la München mai era vie tradiţia studiului reţelei spaţiale a cristalelor, despre care aproape că nu se vorbea în altă parte. Aceasta se explică, în parte, prin faptul că, pînă în 1897, a lucrat la München Leonhardt Sohncke, care a făcut mult pentru cercetarea matematică a acestei probleme. În colecţiile Institutului universitar se puteau vedea modele ale reţelelor. Un mare

merit revine şi mineralogului Paul von Groth, care vorbea permanent despre reţele la lecţiile sale.

În februarie 1912, P. P. Ewald, care-şi pregătea doctoratul la Sommerfeld, trebuind să studieze matematic comportarea undelor luminoase într-o reţea spaţială din atomi polarizaţi, nu a putut ajunge la rezultate corecte, ceea ce l-a determinat să mă viziteze acasă şi să-mi ceară sfatul. Bineînţeles, nu ştiam cum să-l ajut. Dar în timpul discutării problemei mi-a venit deodată ideea că trebuie să facem încercarea de a trece prin cristale unde mai scurte, şi anume radiaţii Röntgen. Dacă atomii formează efectiv reţele spaţiale, atunci trebuie să se producă fenomene de interferenţă, asemănătoare cu interferenţa luminii la reţele optice. Această ipoteză a fost discutată de fizicienii mai tineri de la München, care se întruneau în fiecare duminică la o masă din cafeneaua Lutz. Unul dintre ei, Walter Friedrich, care-şi luase cu puţin timp înainte doctoratul cu o lucrare despre împrăştierea radiaţiilor Röntgen, devenind pe această bază asistent la Sommerfeld, a hotărît să cerceteze experimental chestiunea. Singura dificultate consta în faptul că, la început, Sommerfeld nu s-a aşteptat la nimic din partea acestei idei şi a preferat să-i încredinţeze lui Friedrich experimente pentru studiul distribuţiei direcţionale a radiaţiilor care pleacă din anticatod. Dar şi această dificultate a fost înfrîntă, cînd a intervenit Paul Knipping, doctorand la Röntgen. Friedrich şi Knipping şi-au început experimentele în 1912, înainte de paşti.

Amîndoi au ajuns la acelaşi rezultat. Fotograma radiaţiei unei bucăţi de sulfat de cupru prezenta, pe lîngă radiaţia Röntgen iniţială, inelul spectrului de difracţie al reţelei. Mergeam cufundat în gînduri pe Leopoldstrasse, după ce Friedrich îmi arătase aceste fotografii, şi în

apropierea locuinței mele din Bismarckstrasse nr. 22, în fața casei cu nr. 10 de pe Siegfriedstrasse, mi-a venit în minte ideea teoriei matematice a fenomenului. Nu cu mult înainte, într-un articol scris pentru *Enciclopedia științelor matematice*, dădusem o nouă formulare teoriei difracției la rețele optice, care provenea de la Schwerd (1835). Nu trebuia decît să iau în considerare existența celor trei perioade ale rețelei spațiale, pentru a explica noua descoperire. Inelul observat al razelor interferente a putut fi pus în legătură cu fiecare dintre cele trei condiții de interferență în parte. După două săptămîni, cînd am verificat cantitativ teoria pe baza altor fotografii, am constatat că ea era pe deplin confirmată ; a fost pentru mine o zi hotărîtoare.

Teoria a fost confirmată și în continuare, și chiar mult mai bine decît mă puteam aștepta. Era un lucru cu atît mai uimitor, cu cît nu era decît o aproximație. Cam prin 1920, măsurătorile precise efectuate la Institutul Siegbahn de la Uppsala au dat mici abateri față de teorie. P. P. Ewald a precizat teoria în modul necesar pentru înțelegerea acestora. Însă prima „teorie geometrică" satisfăcea pe deplin un foarte mare număr de cazuri cercetate pînă atunci. Această teorie s-a dovedit aplicabilă chiar pentru interferența electronilor în cristale (descoperită în 1927, pe de o parte de S. S. Davisson și L. H. Germer, iar pe de altă parte, de G. P. Thomson), deși nu totdeauna la fel de bine ca pentru radiații Röntgen.

La 8 iunie 1912 am comunicat această descoperire la o ședință a Societății germane de fizică, la Institutul de fizică al Universității din Berlin, în același loc în care, în decembrie 1900, Planck vorbise pentru prima dată despre legea radiației și despre teoria cuantelor.

De atunci a apărut o literatură bogată consacrată problemelor experimentale şi teoretice ale acestui domeniu. În 1941, cînd am expus în cartea *Interferenţa radiaţiilor Röntgen* numai aspectul teoretic al chestiunii, aceasta mi-a cerut 350 de pagini. Primul pas important după cercetările publicate de mine a fost făcut, în 1913, de W. H. şi W. L. Bragg.

Nu cred că aş fi fost în stare să realizez eu acest pas înainte, deoarece el se referea mai ales la cercetarea detaliată a unor structuri cristaline. În toate domeniile fizicii m-au interesat, în primul rînd, principiile generale, mari. De aceea, mi-au făcut o impresie atît de puternică prelegerile lui Planck, care expunea în mod profund aceste principii şi releva importanţa lor. Problemele de principiu referitoare la natura radiaţiilor Röntgen, pe de o parte, şi a cristalelor, pe de alta, au fost soluţionate suficient prin experimentele lui Friedrich şi Knipping. Cei doi Bragg s-au ocupat, de preferinţă, cu diferite substanţe ; ei au studiat în mod aprofundat structura clorurii de sodiu şi a diamantului, continuînd apoi cu cei mai complicaţi silicaţi. Fizica are nevoie de cercetători cu o factură variată a talentului şi ea ar ajunge repede la impas, dacă toţi fizicienii ar fi de acelaşi tip intelectual.

Istoria descoperirii interferenţei radiaţiilor Röntgen ilustrează limpede valoarea ipotezei în ştiinţă. Cu mult înaintea experimentelor lui Friedrich şi Knipping, numeroşi fizicieni au lăsat să treacă radiaţii Röntgen prin cristale. Dar observaţiile lor s-au limitat la radiaţia care trecea direct şi în legătură cu care nu puteau spune nimic deosebit, în afară de afirmaţia că ea se atenuează cînd trece prin cristal ; radiaţiile deviate, mult mai puţin intense, scăpau privirii lor. Numai ipoteza reţelei spaţiale a cristalului a sugerat ideea necesităţii de a cerceta

aceste radiații. Este de la sine înțeles că aceste radiații ar fi fost observate independent de folosirea unor tuburi Röntgen mai puternice, apărute ca rezultat al progresului tehnic. O întîmplare sau alta tot ar fi condus la descoperirea lor. Dar este greu de prevăzut cînd s-ar fi întîmplat aceasta. Putem spune însă cu certitudine că ideea rețelei spațiale a fost indispensabilă pentru a explica faptul existenței acestor raze.

După cum am mai spus, nu intenționez aici să dau un tablou al activității mele științifice și să expun în amănunte comunicările mele asupra elaborării matematice a teoriei interferenței radiațiilor Röntgen. Vreau să indic doar o serie de lucrări publicate în care s-a manifestat influența sus-menționatei studieri a teoriei lui Maxwell. Timp de cîțiva ani, pînă în 1934, am fost consilier teoretic al Institutului de stat pentru fizică tehnică, unde am avut un contact personal și științific strîns cu Walter Meissner, pe care-l cunoșteam ca participant la cercetările lui Planck încă din perioada cînd fusesem asistent. El era de atunci colaborator al Institutului de stat și șeful laboratorului de temperaturi joase. Îl interesa în mod deosebit supraconductibilitatea, uimitoarea dispariție a rezistivității electrice, care se constată la unele metale, atunci cînd sînt răcite pînă la temperatura heliului lichid. Era cunoscut că un cîmp magnetic destul de intens distruge supraconductibilitatea. Dar măsurătorile au arătat o dependență de neînțeles a intensității cîmpului, necesară în acest scop, de orientarea cîmpului în raport cu axa sîrmei conductoare ; numai sub această formă erau cercetate pe atunci aceste metale. Mi-a venit ideea că sîrma supraconductoare intensifică ea însăși cîmpul, și anume în așa fel încît la suprafața ei apare o intensitate considerabil mai mare a cîmpului decît la o oarecare distanță.

Ipoteza mea că pentru distrugerea supraconductibilității este, în fapt, necesară totdeauna aceeași intensitate a cîmpului putea fi exprimată cu ușurință cantitativ și extinsă asupra unor corpuri de altă formă, de exemplu asupra unor sfere supraconductoare. Am făcut comunicarea corespunzătoare în 1932, la sesiunea de fizică de la Bad Nauheim, cînd am primit medalia Planck. Experimentele efectuate pe această linie de către de Haas și colaboratorii laboratorului de temperaturi joase din Leyda mi-au confirmat pe deplin ipoteza. Ulterior, m-am mai ocupat de termodinamica supraconductibilității și, pe linia lui Fritz și Heinz London, am lucrat la extinderea teoriei lui Maxwell, pentru a cuprinde și fenomenele de supraconductibilitate. Deocamdată însă, nu toate consecințele au putut fi verificate experimental ; au mai rămas aici probleme esențiale care-și așteaptă rezolvarea.

*

Am scris toate acestea în 1944, cînd manuscrisul trebuia să intre la tipar. Circumstanțele din timpul războiului și din perioada postbelică au împiedicat aceasta și abia acum (în 1951) apare posibilitatea publicării. De atunci s-au întîmplat multe care ar trebui să-și găsească locul în autobiografia mea, și de aceea am hotărît să o completez. Am avut mult timp îndoieli, neștiind dacă acest material va fi potrivit pentru titlul *Drumul meu în fizică*, și dacă nu ar fi mai bine să aleg acum noul titlu de *Acord final*. Dar, la urma urmelor, la adevărații oameni de știință, drumul creației se termină abia o dată cu moartea.

Dacă trebuie să privesc departe în trecut, ar fi cazul să povestesc următoarele. În 1897, după terminarea liceului, a trebuit să mă împac, de voie, de nevoie, cu

serviciul militar, deşi obligativitatea lui, care purta în acele vremuri de pace amprenta lui Bismarck, îmi apărea ca o imixtiune nejustificată a statului în viaţa mea personală şi ca o risipire a timpului de care aveam nevoie pentru dezvoltarea mea ştiinţifică. La prima vedere s-ar putea crede că, după înfrîngerea primelor dificultăţi, am dus-o destul de bine ; am ajuns ofiţer de rezervă, după ce, la insistenţele tatălui meu, am înaintat cererea corespunzătoare şi am dat examenele cerute. Dar întreaga mea fiinţă se răzvrătea împotriva armatei. Nu voi povesti aici ce împrejurări de ordin nemilitar mi-au întărit tot mai mult acest sentiment, făcînd, pînă la urmă, să mă îmbolnăvesc grav. Oricum ar fi, după aceea, am putut să-mi înaintez cu cugetul împăcat demisia, care mi s-a aprobat în 1911. În timpul războiului am refuzat chiar o funcţie academică bine retribuită în Elveţia, pentru a împărtăşi soarta poporului german, deşi prevedeam că această soartă nu va fi uşoară. Dar nu am fost primit în armată. Mi-au stat în cale împrejurările de care, după cum am spus, nu mă voi ocupa aici. Deşi am suferit atunci foarte mult de pe urma refuzului de a fi mobilizat, am constatat ulterior că totul a ieşit cît se poate de bine. Cînd hitleriştii au vrut să mă mobilizeze pentru războiul lor, am obţinut scutirea, referindu-mă la faptul că mai fusesem reformat. Pe unicul meu fiu îl trimisesem încă în 1937 în America, ca să nu fie nevoit să lupte pentru Hitler.

De-a lungul vieţii mele am dat dovadă de suficientă înţelepciune pentru a mă ţine cît mai departe de orice activitate politică care depăşea participarea la alegeri, şi aceasta în ciuda puternicului meu interes pentru politică ; îmi cunoşteam limitele. Dar cine putea să evite politica după 1932, cînd totul a fost pătruns de poli-

tică şi era apreciat din punct de vedere politic ? M-au impresionat deosebit de profund arbitrarul şi nelegiuirile naţional-socialismului, care înjosea demnitatea mea de savant, precum şi amestecul în libertatea ştiinţei şi a şcolii superioare. Încă din anii liceului am avut o repulsie irezistibilă faţă de antisemitism, deşi el nu mă afecta personal ; niciodată înainte de 1933, cînd deveneam prieten cu cineva nu-mi puneam problema „rasei" căreia îi aparţine. Niciodată, nici chiar în anii 1918—1919, nu am fost atît de desperat din cauza soartei patriei mele ca în timpul luptei ei pe viaţă şi pe moarte din 1933/1934 şi pînă la 4 august 1934, cînd a primit o lovitură mortală, mişeleasca. La fel cu mulţi dintre prietenii mei, citam adesea în taină versurile :

„Denk ich an Deutschland in der Nacht,
So bin ich um den Schlaf gebracht" *.

Adesea cînd mă trezeam, îmi aminteam de ororile zilei precedente şi mă întrebam dacă toate acestea nu sînt cumva un vis. Din nefericire, era realitatea, o crudă realitate.

Nu am îngăduit însă acestei stări de spirit să-mi paralizeze voinţa. Pe cît mi-a stat în posibilităţi, am ajutat victimele naţional-socialismului, în primul rînd prevenindu-le din timp. Aceasta este valabil, îndeosebi, în privinţa colegilor mei, care-şi pierdeau slujba. În unele cazuri, rare, aceşti oameni au reuşit să reziste în Germania în toată această perioadă nefericită, datorită ajutorului pe care l-au primit, — nu numai de la mine. Mult mai frecvent însă, le uşuram drumul celor care emigrau, trimiţînd organizaţiilor de ajutor din străinătate date asupra persoanei lor, asupra condiţiilor

* Gîndindu-mă noaptea la Germania, îmi piere somnul.

familiale, asupra aptitudinilor şi înclinaţiilor lor. Deoarece cenzura intercepta astfel de scrisori, aceste informaţii trebuiau trimise peste frontieră prin mijloace mai sigure. O dată am dus în Cehoslovacia cu automobilul meu pe un om urmărit. Era pe atunci mult mai uşor decît îşi închipuie unii. Dar toate acestea trebuiau făcute cît se poate de conspirativ.

În schimb, mi-am declarat oficial convingerile. Aceasta reiese din două documente, pe care le dau ca anexă la lucrarea de faţă. Primul document este textul discursului pe care l-am ţinut în 18 septembrie 1933 la Würzburg, în calitate de preşedinte al Societăţii germane de fizică, la congresul fizicienilor, şi publicat curînd după aceea într-o revistă de fizică. Alt document este necrologul pe care l-am scris pentru eminentul reprezentant al chimiei fizice Fritz Haber, a cărui concediere şi alungare a fost una dintre cele mai „glorioase" fapte ale hitlerismului. Acest necrolog a apărut în primăvara anului 1934, în revista „Naturwissenschaften". Aceasta mi-a atras o admonestare din partea Ministerului culturii. Se pare că cei de acolo simţeau nevoia să facă ceva pentru a mă „distra".

Ca profesor la Universitatea din Berlin şi director adjunct al Institutului de fizică „Kaiser Wilhelm", am rămas legat de Berlin şi după anul 1939. Această legătură a slăbit după ce, la 1 octombrie 1943, Ministerul culturii m-a scos la pensie. Aceasta s-a întîmplat cu un an înainte de a atinge vîrsta corespunzătoare, dar mi-am dat acordul. La jumătatea lui aprilie 1944 mă aflam la Berlin în timpul bombardamentelor aeriene. De exemplu, în memorabila noapte de 15/16 februarie 1944 am văzut incendiul de la Institutul de chimie „Kaiser Wilhelm", de sub conducerea lui Otto Hahn. Deasupra acoperişului şi a zidului din sud, care se

surpase, se agita o mare de flăcări, un spectacol îngrozitor şi măreţ! Cînd Institutul de fizică „Kaiser Wilhelm" a fost evacuat din Dahlem, iar casa mea din Zehlendorf a devenit foarte neconfortabilă, deşi bombele nu o făcuseră total inutilizabilă, m-am mutat împreună cu institutul la Höchingen. Acolo, în apropierea castelului Hohenzollernilor, am petrecut un an calm, împreună cu soţia mea. Deasupra oraşelului treceau adesea în zbor flotile de aviaţie, însă aproape că nu le dădeam nici o atenţie. De aceea, mă gîndesc la această perioadă ca la una relativ fericită, deşi nu eram scutit de privaţiunile războiului. În plus, am văzut şi pe atunci multe dintre ororile regimului hitlerist; un bun prieten a fost arestat pe stradă şi ne-a fost teamă, nu fără motiv, că va fi împuşcat. Măsurile de apărare de la Höchingen aveau un caracter pueril, dar s-ar fi putut dovedi periculoase dacă lucrurile ar fi ajuns efectiv pînă la luptă. Din fericire, au învins cei care înţelegeau cît de sterilă ar fi rezistenţa. La 23 aprilie 1945, locuitorii oraşelului au asistat uşuraţi la intrarea trupelor franceze şi spaniole republicane, care au sosit în oraş fără luptă, în ciuda tuturor măsurilor militare legate de acest gen de „cuceriri". Toate acestea nu mai puteau mira pe nimeni.

A fost însă o surpriză sosirea trupelor anglo-americane, care, a doua zi după ce au ajuns în oraş, au ocupat institutul şi l-au percheziţionat. După cum s-a lămurit ulterior, măsura era în legătură cu operaţia americană „Alsos". Această denumire este traducerea în limba elină a numelui generalului Grove (αλσος — pădurice). La această operaţie luau parte oameni din lumea ştiinţifică, între alţii distinsul meu coleg S. Goudsmit. Spre uimirea noastră, el a apărut pe neaşteptate la noi acasă, în uniformă şi cu cască de oţel.

Era în doliu după părinţii săi, care fuseseră evacuaţi din Olanda şi trecuţi de acolo într-un lagăr de exterminare, unde şi-au găsit moartea (cînd am aflat despre aceste intenţii în legătură cu părinţii lui Goudsmit, Heisenberg şi cu mine am vrut să intervenim, dar era prea tîrziu). Retrăgîndu-se, aceste unităţi au luat cu sine mai mulţi fizicieni specializaţi în problemele nucleare, printre care şi pe mine, deşi nu meritam onoarea de a fi numărat printre aceşti fizicieni. Completîndu-se în cîteva rînduri, acest grup a ajuns să numere 10 oameni. Am fost duşi întîi la Heidelberg, apoi la Reims, apoi în suburbia pariziană Vésinet; după aceea am fost mutaţi în frumosul castel Facqueval la sud de Guy (în Belgia) şi în sfîrşit la Huntingdon, în Anglia.

Nu aveam motive să ne plîngem pentru felul cum eram trataţi. După privaţiunile din timpul războiului, raţia pe care o primeam ni se părea foarte bună. La Huntingdon am avut la dispoziţie, în afară de vasta sală a unui castel vechi de 250 de ani, o parte din parcul înconjurător. În faţa noastră se deschidea privelişte minunată a unui parc bătrîn, care se întindea pînă la Ausa; primeam ziare şi reviste engleze şi americane, precum şi unele lucrări ştiinţifice. Un aparat de foarte bună calitate ne dădea posibilitatea să urmărim frumoasele emisiuni de muzică de la radio Londra. Adesea, cîte unul dintre ofiţerii englezi care ne păzeau ne luau într-o excursie cu automobilul prin frumoasele împrejurimi ale Huntingdonului, la celebrele catedrale Peterborough sau Ely. Am fost duşi chiar la Londra, unde locuiau singurii medici care puteau avea contact cu noi (un internist şi un stomatolog). Dar n-am avut niciodată posibilitatea de a merge la Cambridge, care este în vecinătatea Huntingdonului. Exista posibilitatea să fim recunoscuţi în acest oraş

universitar, iar detenţiunea noastră era strict secretă. În primele patru luni n-am avut nici un fel de legături cu familiile noastre ; ulterior, ni s-a dat voie să scriem, dar nu trebuia să spunem în ce ţară ne aflăm. Aceasta arăta o oarecare nesiguranţă a învingătorilor în ceea ce priveşte atitudinea ce trebuia adoptată faţă de fizicienii germani ale căror aptitudini le apreciau, temîndu-se totodată şi de „pericolul" pe care puteau să-l reprezinte. Deşi această situaţie a dus adesea la momente comice, ea era pentru noi apăsătoare. Am reuşit să scriu la Huntingdon o lucrare despre absorbţia radiaţiilor Röntgen în caz de interferenţă ; lucrarea a fost tipărită mai tîrziu în „Acta Cristallographica". Discuţiile frecvente pe care le aveam erau întrucîtva un stimulent pentru activitatea noastră intelectuală. La începutul anului 1946, am putut pleca din Anglia şi după ce am stat un timp în Westfalia, cei mai mulţi dintre noi au ajuns la Göttingen. Pînă în aprilie 1951 am lucrat acolo ca director adjunct al Institutului de fizică „Kaiser Wilhelm", iar curînd am primit şi numirea într-un post de profesor la universitate. În această perioadă am scris o carte despre teoria supraconductibilităţii, mi-am prelucrat parţial cartea despre undele de Broglie şi am publicat cîteva articole în reviste. Am putut de asemenea să termin revizuirea în manuscris a primei mele cărţi : cea consacrată teoriei relativităţii, care era de mult epuizată. În aprilie 1951 mi s-a oferit locul de director al Institutului de chimie, fizică şi electrochimie de pe lîngă Şcoala superioară de cercetări. Era Institutul „Kaiser Wilhelm", înfiinţat cîndva de Fritz Haber. Este foarte curios, desigur, că un astfel de post a fost oferit unui om care împlinise 71 de ani şi că l-a acceptat. Dar oare nu este întregul Berlin de astăzi un fenomen curios ?

Am fost întrebat adesea de ce n-am emigrat din Germania în timpul hitlerismului. Am avut pentru aceasta motive temeinice. De exemplu, unul dintre ele este că n-am vrut să-i iau cuiva dintre colegii mei, care aveau mai multă nevoie, un post ce nu se găsea ușor peste hotare. Dar principalul motiv consta în faptul că voiam să fiu la fața locului pentru a avea posibilitatea, după prăbușirea celui de-al „treilea Reich" (pe care am prevăzut-o și în care speram), de a trece imediat la renașterea culturii pe ruinele lăsate de acest stat. Cea mai mare parte a activității mele de după 1945 a fost consacrată acestui scop.

În discursul și în necrologul care urmează și despre care am vorbit anterior sînt prezentate unele trepte din evoluția tabloului fizic al lumii. Vom începe cu discursul de deschidere al Congresului fizicienilor, ținut la Würzburg în 18 septembrie 1933 :

Dacă ne vom strînge mîine la Institutul de fizică al actualei universități, ne vom afla într-un loc istoric. La sfîrșitul anului 1895, Wilhelm Conrad Röntgen a descoperit în această clădire radiațiile care-i poartă numele. Ar fi inutil și chiar deplasat să vorbim despre importanța lor pentru fizică și pentru toate celelalte domenii ale aplicațiilor lor. Vrem totuși să menționăm măreția descoperirii lui Röntgen, care a observat pentru prima dată în mod conștient un lucru pe lîngă care alții au trecut indiferenți. Știm din biografia lui Röntgen, scrisă de Glasser, că, încă în 1890, de cealaltă parte a oceanului, a fost obținută o imagine radiografică bună, care a putut fi însă înțeleasă abia după articolele lui Röntgen.

Îl vom aminti apoi în acest loc pe urmaşul lui Röntgen, Willy Wien, care a predat şi a făcut cercetări timp de 17 ani în această clădire. Clasicele sale lucrări teoretice despre emisia de lumină, care, sub forma legii de deplasare a lui Wien, au devenit o parte inalienabilă a ştiinţei noastre, datează din anii de tinereţe, cînd, ca fizician începător, lucra sub conducerea lui Helmholtz la Institutul de stat de fizică tehnică. Numai aici a putut el, de-a lungul multor ani, să se consacre, împreună cu numeroşii săi elevi şi prieteni, cercetărilor experimentale temeinice şi atît de rodnice. Ceea ce s-a realizat aici în cunoaşterea naturii radiaţiilor canal formează o parte considerabilă din conţinutul unor manuale celebre în materie, apărute în ultimul timp. Vreau să relev aici în mod deosebit două lucrări fundamentale ale lui Wien, care datează din această perioadă: prima determinare bazată pe teoria cuantelor a frecvenţei radiaţiilor Röntgen, care a dat o valoare aproximativă, dar în esenţă corectă; apoi, confirmarea experimentală a relativităţii cîmpului electromagnetic, în conformitate cu teoria relativităţii. Cercetarea spectrală a particulelor în mişcare din radiaţiile canal în cîmp magnetic arată prezenţa efectului Stark, pe care-l cunoşteam numai în cîmp electric pentru izvoarele luminoase fixe.

Dar această casă a putut să vadă şi cu totul alte lucruri. În timpul războiului mondial, Wien şi-a transformat institutul (iar cu colaborarea lui Max Seddig şi institutul vecin, cel de chimie) într-o întreprindere pentru cercetarea aparatelor necesare în tehnica telecomunicaţiilor, în primul rînd amplificatoare. Mijloacele de transmisiuni militare pe care le-am instalat pe front în 1914 nu au fost la înălţime, şi adversarii noştri ne erau mult superiori în această privinţă. Faptul

că în patru ani această situaţie s-a schimbat încet, dar esenţial, este în mare măsură meritul celor ce au lucrat în această casă a fizicienilor.

În ziua de 22 iunie a acestui an, fizica poate sărbători o zi memorabilă de un gen cu totul deosebit. În această zi se împlinesc 300 de ani de la încheierea procesului lui Galilei în faţa inchiziţiei. După cum se ştie, motivul acestui proces a fost teoria lui Copernic despre mişcarea Pămîntului şi a celorlalte planete în jurul Soarelui, o teorie care contrazicea atunci atît de mult concepţiile unanim admise, încît a făcut senzaţie şi a stîrnit vîlvă, exact cum s-a întîmplat în secolul nostru cu teoria relativităţii. Galilei nu a fost numai apărătorul unic al acestei teorii, ci şi apărătorul ei creator, deoarece el a ştiut să o întărească prin remarcabila descoperire a sateliţilor lui Jupiter, a fazelor lui Venus şi a rotaţiei Soarelui. Procesul s-a încheiat printr-o condamnare. Galilei trebuia să renege teoria lui Copernic şi a fost condamnat la închisoare pe viaţă. E drept că îngrădirea libertăţii sale a fost treptat atenuată; i s-a fixat o casă unde să locuiască, pe care nu avea voie să o părăsească şi unde nu putea primi pe nimeni fără o aprobare specială. În fapt, opera sa principală, *Discurs asupra celor două doctrine noi în mecanică*, a apărut în această perioadă, cînd era în stare de arest. A rămas închis pînă la sfîrşitul vieţii sale.

Despre această condamnare a lui Galilei a apărut o legendă celebră. În timp ce Galilei depunea jurămîntul şi semna renegarea teoriei despre mişcare, el a spus: „Şi totuşi, se mişcă!" Această legendă nu poate fi demonstrată istoric şi este lipsită de probabilitate intrinsecă, dar ea s-a păstrat vie în rîndurile poporului. Pe ce se bazează vitalitatea ei? Pe faptul că, în tot cursul procesului, Galilei trebuia să se întrebe: „Ce înseamnă

toate acestea? Faptele nu se vor schimba dacă eu sau altcineva va afirma sau va nega ceva, dacă forţele politice şi bisericeşti sînt pentru, sau contra. Oricît ar fi întîrziată cunoaşterea acestor fapte de indiferent ce forţă, într-o bună zi, ele tot îşi vor croi drum". Şi aşa s-a întîmplat. Înaintarea triumfală a teoriei lui Copernic nu a putut fi oprită. Chiar biserica, care l-a condamnat pe Galilei, a trebuit pînă la urmă să renunţe la orice rezistenţă, deşi aceasta s-a întîmplat abia după două sute de ani.

Ulterior, au mai fost perioade defavorabile pentru ştiinţă, de exemplu în Prusia, sub domnia lui Friedrich Wilhelm I. Dar, sub orice asuprire, apărătorii ştiinţei au ştiut să se ridice pînă la convingerea victorioasă, exprimată în propoziţia atît de simplă: „Şi totuşi, se mişcă!"

Necrologul caracterizează în linii mari rolul lui Fritz Haber:

La 9 decembrie 1928, zi în care Fritz Haber a împlinit 60 de ani, în faţa Institutului de chimie fizică şi electrochimie „Kaiser Wilhelm" din Dahlem, institutul său, s-a strîns un mic grup de prieteni şi colaboratori, care au plantat un tei în cinstea lui Haber. El se afla pe atunci în Sud. Era un fel original de a-i sărbători ziua naşterii. La fel cu alte reviste ştiinţifice, „Die Naturwissenschaften" a publicat un număr jubiliar, compus din materiale scrise de cei mai buni cunoscători ai diverselor aspecte ale activităţii lui Haber. Aceste materiale ne dau o idee clară despre ceea ce au pierdut în Haber fizica şi chimia, economia şi tehnica, — cea militară şi cea civilă. Cititorul va găsi acolo şi dovada că lucrările ştiinţifice reprezintă numai o latură a personalităţii lui Haber. El este, poate, şi mai mare

prin activitatea sa ca director de institut. El a asigurat întotdeauna colaboratorilor săi posibilitatea deplină de a-şi desfăşura aptitudinile, dînd totodată şi tonul pentru întreaga activitate a institutului. Activitatea sa în preajma celei de-a 60-a aniversări a fost foarte intensă. Temele şi planurile cercetărilor sale personale din ultimii ani erau legate de procesele arderii, de fenomenele exploziei şi de influenţa atomilor şi a radicalilor asupra acestor fenomene, de autotoxicare şi reducere în soluţii, mai ales în cadrul proceselor biologice. Dintre alte lucrări ale institutului său vom menţiona separarea para- şi ortohidrogenului, realizată de Bonnhöffer şi Harteck, precum şi aplicarea lor la cercetarea unor procese chimice complexe şi a proprietăţilor magnetice ale substanţei. Cît timp Haber s-a aflat în fruntea institutului, acesta a fost un loc celebru de cercetare intensă a naturii.

La 2 mai 1933, Haber a vizitat pentru ultima dată institutul, ca să-şi ia rămas bun.

Temistocle a intrat în istorie, nu ca exilat la curtea regelui perşilor, ci ca învingător în bătălia de la Salamina. Haber a intrat în istorie ca inventator genial al metodei de combinare a azotului cu hidrogenul, care stă la baza obţinerii tehnice a azotului din atmosferă, ca om care a creat „un mijloc dintre cele mai importante pentru progresul economiei şi al bunăstării omenirii", care a obţinut „pîinea din aer", realizînd astfel un uriaş succes „în slujba patriei sale şi a întregii omeniri", cum s-a arătat atunci cînd i-a fost înmînat Premiul Nobel.

Ce le rămîne celor care l-au cunoscut şi îl plîng? Amintirile... „Prietenii şi colaboratorii săi cunosc bogăţia inimii sale, fidelitatea sa, cavalerismul şi delicateţea sa, indignarea sa în faţa necinstei şi a imorali-

tăţii, calmul său plin de veselie în faţa lucrurilor mărunte. El a condus totdeauna neobosit tineretul, s-a străduit mereu să-i dea speranţe şi să-i indice căi noi. El n-a ştiut ce înseamnă îngustimea şi intoleranţa ; a preţuit realizările altor ţări şi altor inteligenţe, dar dragostea sa a dăruit-o Germaniei ; ca nimeni altul, el s-a străduit să ajute această ţară în vremurile cele mai grele, să-i apere şi să-i hrănească pe copiii ei".

Aşa scria Margarete Wrangel în 1928. Aşa a rămas Haber în memoria noastră. Pentru că a fost al nostru.

I. V. Kuznețov

DESPRE CARTEA LUI MAX VON LAUE „ISTORIA FIZICII"

Profesorul Max von Laue, de la Universitatea din Göttingen, este unul dintre cei mai bătrîni fizicieni * contemporani, în a cărui prezență și cu a cărui participare s-a produs, la începutul secolului nostru, revoluția din științele naturii și în particular din fizică, de care se ocupă V. I. Lenin în celebra sa carte *Materialism și empiriocriticism.* Descoperirea electronului, a radioactivității, a radiațiilor Röntgen, a cuantelor de energie, extinderea legilor termodinamicii asupra radiației electromagnetice, crearea teoriei relativității restrînse și prăbușirea inevitabilă a vechilor noțiuni științifice, însoțită de apariția unor idei teoretice noi, au constituit osatura acestei revoluții.

Creația științifică a lui Laue este legată în mod esențial de unele dintre problemele de mai sus, a căror rezolvare a determinat o restructurare radicală a științei.

Cînd au fost descoperite radiațiile Röntgen și proprietățile lor misterioase, care i-au uimit pe toți contemporanii acestei descoperiri, s-a pus problema naturii noii și enigmaticei radiații. Fac oare parte radiațiile Röntgen din aceeași categorie de fenomene fizice ca și radiația electromagnetică, sau nu ? Pot oare radiațiile Röntgen să prezinte difracție și interferență la fel cu radiațiile lu-

* Ediția în limba rusă a apărut în 1956, cînd Laue mai trăia. — *N. R.*

minoase, sau ele nu posedă nici un fel de proprietăţi ondulatorii ? Erau probleme de o importanţă uriaşă.

În opoziţie cu părerea mai multor savanţi de seamă, Laue a emis ipoteza că radiaţiile Röntgen au proprietăţi ondulatorii şi ideea că ele pot să interfere în reţeaua spaţială a cristalelor. Experimentele lui W. Friedrich şi P. Knipping din 1912 au confirmat în mod strălucit această ipoteză. După primele publicaţii consacrate rezultatelor cercetărilor experimentale, Laue a dezvoltat teoria interferenţei radiaţiilor Röntgen în cristale, o teorie aproximativă, după cum ştim astăzi, dar care este foarte bine confirmată de experienţă. Ulterior, teoria a fost precizată de mulţi alţi oameni de ştiinţă. În particular, s-a luat în considerare faptul, ignorat în teoria iniţială, că atomii din cristal se află într-o permanentă mişcare termică. Teoria interferenţei în cristale, generalizată în acest mod, a căpătat denumirea de „teorie dinamică". Ea s-a dovedit de o importanţă esenţială pentru etapa următoare a dezvoltării fizicii, cînd au fost descoperite proprietăţile ondulatorii ale electronilor şi s-a pus problema înţelegerii mecanismului interferenţei lor în reţelele spaţiale ale substanţelor cristaline. Cel care a dat forma definitivă „teoriei dinamice" a interferenţei a fost iarăşi Laue, în 1931.

Figura de interferenţă caracteristică, obţinută în urma trecerii radiaţiei Röntgen cu spectru continuu printr-un monocristal, se numeşte în prezent „lauegramă". Ea se aplică pe scară largă şi cu mult succes în cercetarea structurii cristalelor.

Acesta este un ciclu de lucrări ale lui M. v. Laue. Altul este legat de teoria relativităţii, apărută în 1905. După şase ani, cînd era încă foarte departe de a fi recunoscută de cercurile largi ale opiniei publice ştiinţifice, Laue a dat prima expunere generalizată a acestei

teorii. Remarcabila carte a lui Laue, consacrată teoriei relativității, a jucat un rol important în întărirea noilor reprezentări despre spațiu și timp, despre legile mișcării materiei cu viteze comparabile cu viteza luminii. Ea ne apare și astăzi ca un participant activ la lupta pentru noile reprezentări din fizică, în perioada transformării revoluționare a fizicii de la începutul secolului al XX-lea. Laue a făcut și unele cercetări mai speciale în domeniul teoriei relativității.

După cum se exprimă plastic Laue în *Istoria fizicii*, pe la începutul secolului nostru, termodinamica și optica deveniseră ramuri atît de vaste și de importante ale fizicii, „încît din reunirea lor a putut să apară rodul menit să producă cea mai mare revoluție în fizică". Acest rod — teoria cuantică a radiației — a apărut, și revoluția s-a produs efectiv. Prin lucrările sale, Laue a contribuit la reunirea termodinamicii cu optica, care a adus rezultate dintre cele mai fructuoase pentru cunoașterea naturii. În 1906 el a aplicat legile dinamicii și noțiunea de entropie la fasciculele luminoase coerente, obținute din aceeași rază prin reflexie și refracție. Cu acest prilej, Laue a demonstrat caracterul reversibil al despărțirii razei reflectate de cea refractată : entropia totală a razelor coerente este egală cu entropia fasciculului inițial din care ele s-au format.

A fost o problemă complicată și extrem de importantă. Pe vremea aceea părea că fizicienii se loviseră aici de o contradicție de nerezolvat, din care se putea ieși numai cu prețul unei reconsiderări radicale a principiilor fundamentale ale fizicii. Pe de o parte, pe baza celui de-al doilea principiu al termodinamicii rezulta că împărțirea fasciculului luminos prin procese de refracție și reflexie trebuie să fie legată de o creștere a entropiei, adică trebuie să fie un proces ireversibil. Pe de

altă parte, legile opticii arătau că, prin aceleași procese de reflexie și refracție, fasciculele luminoase despărțite pot fi din nou reunite într-un singur fascicul, care nu se deosebește de cel inițial și a cărui entropie are aceeași valoare ; prin urmare, întregul proces poate fi considerat reversibil. Dată fiind această contradicție, apăreau chiar îndoieli în legătură cu aplicabilitatea celui de-al doilea principiu al termodinamicii la fenomenele optice.

Cercetările lui Laue au introdus claritate deplină în această problemă. Soluția a fost obținută pe baza legii lui Boltzmann referitoare la relația dintre entropie și probabilitate. După cum a stabilit Laue, concluzia creșterii entropiei în cazul separării fasciculului luminos a apărut pentru că nu se ținuse seamă de faptul că fasciculele luminoase care se formează în urma împărțirii celui inițial nu sînt — în virtutea coerenței lor — statistic independente. Corelația dintre cele două fascicule face ca entropia lor totală să rămînă egală cu entropia fasciculului inițial.

Acesta este al treilea ciclu de lucrări ale lui Laue, care au lăsat o urmă în istoria științei. Am mai putea menționa lucrările consacrate supraconductibilității, precum și unor probleme generale ale fizicii teoretice moderne.

Cartea lui M. v. Laue *Istoria fizicii* a apărut în 1947. În trei ani ea a fost reeditată de trei ori în limba germană, apoi publicată în S.U.A. și în Olanda. În 1953 a apărut ediția în limba franceză, prefațată de Maurice de Broglie, fratele lui Louis de Broglie, unul dintre întemeietorii mecanicii cuantice.

Interesul cititorilor pentru această carte este cît se poate de firesc. În primul rînd, atrage numele autorului care, după cum am arătat, a participat activ la dezvol-

tarea fizicii în ultima jumătate de veac. De asemenea, ne seduc concentrarea şi, totodată, bogăţia materialului faptic, claritatea şi simplitatea expunerii, care o fac accesibilă cercurilor largi ale celor ce se interesează de istoria ştiinţei. Un alt punct pozitiv este că, în opoziţie cu multe alte lucrări, cartea este consacrată, în principal, istoriei fizicii *moderne*. Deşi în expunerea sa Laue recurge şi la antichitate, evocînd creaţia lui Aristotel, a lui Arhimede şi a altor învăţaţi din trecutul îndepărtat, el acordă principala atenţie ultimului secol al dezvoltării fizicii. Astfel, cartea ne conduce pînă la acea stare a fizicii pe care o găsim în zilele noastre.

Istoria fizicii a lui Laue are şi alte merite care fac din ea un fenomen cu totul ieşit din comun în literatura consacrată istoriei fizicii în ţările burgheze, un fenomen despre care merită să vorbim mai amănunţit.

Fundamentul general pe care M. v. Laue îşi construieşte ansamblul concepţiei asupra istoriei fizicii este profunda sa convingere în realitatea obiectivă a lumii exterioare, a tuturor corpurilor şi fenomenelor pe care le studiază fizica.

Se ştie că printre numeroşi fizicieni de seamă din străinătate este răspîndită concepţia greşită că atomii şi particulele elementare „nu au realitate deplină", sau chiar că sînt total „lipsite de realitate". Se susţine că ele ar fi creaţii ale spiritului omenesc, „simboluri matematice convenţionale", pe care le introducem pentru a sistematiza datele experienţei. În opoziţie cu aceasta, Laue recunoaşte clar şi distinct realitatea deplină şi necondiţionată a atomilor, ca şi a particulelor elementare. Sub raportul realităţii lor, el nu vede nici o deosebire între acestea şi celelalte corpuri ale lumii materiale. El subliniază că „nu numai atomii, recunoscuţi drept configuraţii destul de complexe, ci şi particulele elementare

posedă realitatea deplină a altor lucruri din lumea exterioară" (p. 149).

Recunoaşterea consecventă a realităţii obiective a lumii exterioare are drept consecinţă inevitabilă recunoaşterea adevărului obiectiv pe care ni-l oferă ştiinţa. Şi Laue ajunge la recunoaşterea adevărului obiectiv, la recunoaşterea valorii obiective a cunoaşterii ştiinţifice. Mai mult, el nu se mulţumeşte să recunoască acest lucru, nu se mărgineşte să revină frecvent, în tot lungul *Istoriei fizicii,* la ideea existenţei realităţii obiective, ci tinde în mod perseverent să găsească dovezi în favoarea adevărului acestei idei. După concepţia sa, idealul pentru o istorie a fizicii trebuie să constea în dezvăluirea adevărului obiectiv al cunoaşterii ştiinţifice (vezi pp. 18—19).

Laue îşi dă foarte bine seama că ideea adevărului obiectiv al cunoaşterii ştiinţifice suscită obiecţii din partea unor „curente gnoseologice". El arată în mod just pe ce anume vor să se sprijine aceste curente, atunci cînd încearcă să justifice punctul de vedere inacceptabil pentru el, conform căruia cunoaşterea ştiinţifică ar fi total şi absolut „convenţională", subiectivă. Reprezentanţii acestor curente consideră drept demonstraţii ale tezei lor faptul că teoriile fizice îşi cedează des locul una alteia. Laue respinge aceste argumente ca fiind lipsite de consistenţă, subliniind că succesiunea teoriilor fizice nu le împiedică să conţină „un sîmbure important de adevăr obiectiv, neafectat de adăugirile oamenilor" (p. 19).

„Curente gnoseologice" care neagă adevărul obiectiv au existat în trecut, după cum există şi astăzi. Dar, arată Laue, în ultimul timp ele au ajuns la o răspîndire deosebit de largă. De ce? Laue dă un răspuns care îi atestă perspicacitatea, priceperea de a analiza proble-

mele teoretice ale ştiinţei, în legătura lor cu problemele sociale. El consideră că teoriile idealiste ale cunoaşterii sînt răspîndite intens din cauza „propagandei politice".

Idealismul este, prin esenţa sa, în contradicţie cu conţinutul obiectiv al ştiinţei. Ştiinţa respinge total punctul de vedere al idealismului. Ruperea conştiinţei de materie şi transformarea conştiinţei într-o „entitate de sine stătătoare", caracteristice pentru toate concepţiile idealiste, au loc sub influenţa decisivă a unor cauze sociale. Acest divorţ conduce inevitabil la negarea valorii obiective a ştiinţei. În opoziţie cu aceasta, gnoseologia materialistă este în deplină concordanţă cu ştiinţa, este confirmată şi întărită de toate realizările acesteia. Laue deduce cît se poate de corect ideea materialistă a adevărului obiectiv în ştiinţă, luînd ca bază esenţa însăşi a datelor ştiinţei, din istoria cunoaşterii lumii exterioare obiective. Această reprezentare nu-i este impusă ştiinţei dinafară, ci rezultă din ea în mod spontan, concordă cu tot spiritul şi conţinutul ei.

În istoria fizicii, arată Laue, se repetă de mai multe ori următorul fenomen: teorii total diferite, care fuseseră dezvoltate anterior de şcoli diferite şi se refereau la domenii de fenomene distincte, considerate de toţi ca neavînd nimic comun între ele, se apropie şi se contopesc într-o bună zi, formînd ceva unitar şi armonios. Din ce cauză? Pentru că, răspunde Laue, în aceste teorii, indiferent de opiniile subiective diferite ale oamenilor, există ceva comun: sîmburele de adevăr absolut, care nu depinde de oameni, de voinţa, de dorinţele şi de aspiraţiile lor. Dacă ele nu ar avea acest sîmbure de adevăr obiectiv, subliniază Laue, „potrivirea dintre aceste teorii ar putea fi înţeleasă doar ca un miracol" (p. 19).

Analizînd dezvoltarea celor mai importante capitole ale fizicii, Laue descoperă pretutindeni contopiri similare ale unor teorii, atrage în mod consecvent atenţia cititorului asupra lor şi relevă importanţa lor gnoseologică în calitate de dovadă pentru adevărul obiectiv al ştiinţei şi pentru puterea ei de convingere. El vorbeşte despre contopirea teoriei electricităţii cu teoria luminii, realizată în urma dezvoltării ideilor lui Faraday şi Maxwell, drept unul dintre cele mai importante evenimente de acest gen. „Această contopire firească — scrie Laue — a celor două teorii pînă atunci total independente, a luminii şi a electrodinamicii, este unul dintre evenimentele — şi poate cel mai mare dintre ele — pe care Introducerea le cita ca dovezi pentru adevărul cunoaşterii în fizică" (p. 58).

A venit un moment cînd s-a stabilit o strînsă legătură şi între teoria atomică a cristalelor şi teoria ondulatorie a radiaţiilor Röntgen. Cauzele au fost aceleaşi. Acesta este, scrie Laue, „unul dintre evenimentele surprinzătoare, care-i conferă fizicii puterea ei de convingere" (p. 168). Urmărind istoria termodinamicii şi a opticii, Laue îl îndrumă pe cititor pînă la momentul cînd ele s-au contopit, rezumînd şi de astă dată : „Aici s-a întîmplat unul dintre evenimentele despre care vorbeam în Introducere şi care dovedesc adevărul fizicii" (p. 173). În mod similar, Laue îi atrage cititorului atenţia asupra importanţei pe care o prezintă pe plan gnoseologic stabilirea unei strînse legături între chimie şi teoria cuantică, fenomen care s-a produs în ultimele decenii (vezi p. 189).

Argumentele în favoarea recunoaşterii adevărului obiectiv al fizicii sînt descoperite de Laue şi în fapte de altă natură : confirmarea experimentală a previziunilor ştiinţei. Ca exemplu care atestă strălucita confir-

mare a unei îndrăzneţe prevederi ştiinţifice, el citează rezultatele legate de eliberarea energiei atomice. Laue subliniază aici că însăşi această prevedere a posibilităţii reacţiei în lanţ şi a degajării explozive de energie în bomba atomică se întemeia pe recunoaşterea adevărului obiectiv. „Din punct de vedere fizic, scrie Laue, acesta a fost cel mai mare experiment pe care oamenii l-au organizat vreodată. Era confirmarea strălucită a unei supoziţii îndrăzneţe bazată pe convingerea că fizica reprezintă un adevăr obiectiv" (p. 160).

Desigur, la aceste consideraţii pe care le dezvoltă Laue în favoarea recunoaşterii adevărului obiectiv şi împotriva înţelegerii „convenţionaliste" (subiectiviste) a teoriilor fizice s-ar mai putea adăuga multe. Pentru noi aici este esenţial însuşi faptul că Laue combate subiectivismul.

După cum a arătat V. I. Lenin, recunoaşterea adevărului obiectiv înseamnă o situare pe punctul de vedere al gnoseologiei materialiste. Apărînd adevărul obiectiv în fizică, Laue apără teoria materialistă a cunoaşterii.

Această poziţie a lui Laue în problemele teoretice generale ale fizicii nu este întîmplătoare. El a fost mulţi ani adeptul ei. Împreună cu alţi mari fizicieni, în special cu M. Planck, al cărui elev a fost, el a aparţinut grupului de oameni de ştiinţă pe care M. Born i-a poreclit „bombănitorii". Aceştia şi-au ridicat de multe ori glasul în apărarea principiului cauzalităţii, împotriva tentativelor de a introduce în fizica modernă concepţiile indeterministe, pe baza unei înţelegeri denaturate a statisticităţii mecanicii cuantice. Şi după cum se ştie, problema cauzalităţii este una dintre cele mai importante, care ne permite să ne facem o idee despre esenţa concepţiilor filozofice ale diverşilor oameni de ştiinţă. Linia subiectivistă în interpretarea cauzalităţii înseamnă

idealism filozofic. Recunoaşterea caracterului obiectiv al cauzalităţii, recunoaşterea cognoscibilităţii ei înseamnă materialism.

În articolele sale consacrate analizei relaţiilor de nedeterminare ale lui Heisenberg şi caracterizării semnificaţiei lor gnoseologice, Laue combate încercările de a renunţa la principiul cauzalităţii. Unii fizicieni au proclamat drept argument în favoarea acestei renunţări faptul că mijloacele de observaţie exercită o anumită acţiune asupra obiectului cercetat. Laue arată că, în realitate, interacţiunea aparatului cu obiectul nu implică nicidecum necesitatea de a renunţa la principiul cauzalităţii. El îşi exprimă dezacordul cu ideea că relaţia de nedeterminare ar stabili un anumit hotar pentru cunoaştere, care desfiinţează posibilitatea de a pătrunde mai departe în adîncul microproceselor. Întemeindu-se pe fapte din istoria fizicii, Laue respinge părerea că posibilităţile de măsurare ale ştiinţei nu pot să se dezvolte mai departe după ce am ajuns la particule materiale cum sînt atomii. După Laue nu există nici un fel de hotare principiale în calea cunoaşterii, iar relaţia de nedeterminare indică doar limitele mecanicii corpusculare, şi nicidecum limitele generale ale cunoaşterii fizice.

Laue exprimă unele consideraţii adevărate şi profunde în problema legăturii dintre ştiinţă şi practică. De obicei, idealiştii prezintă apariţia şi dezvoltarea ştiinţei ca rezultat al „automişcării spiritului", ca produs al „activităţii creatoare" a spiritului, care dă naştere ştiinţei din el însuşi, fără nici o legătură cu realitatea materială, cu sarcinile practice ale vieţii sociale. Laue nu este adeptul acestui punct de vedere. El îi rămîne străin. Este pe deplin explicabil : recunoaşterea realităţii obiective a lumii exterioare şi a adevărului

obiectiv al cunoașterii științifice este incompatibilă cu punctul de vedere idealist asupra apariției și dezvoltării științei.

Dintre toate capitolele fizicii, s-a format în primul rînd mecanica, iar în mecanică a apărut întîi statica. Din ce cauză ? Laue scrie : „După cum am mai amintit, teoria echilibrului — statica — își are rădăcinile încă în antichitatea îndepărtată. Importanța practică pe care pîrghia, șurubul, scripetele, planul înclinat o prezintă pentru înfăptuirea muncilor fizice grele a fost cea care le-a trezit la viață“ (p. 25).

Laue arată că o sarcină pusă de practică, aceea de a crea transporturile pe apă și cele aeriene, a dat impuls cercetărilor în domeniul dinamicii lichidelor și gazelor. Rezolvarea acestei sarcini a constituit scopul vastelor cercetări ale lui Rayleigh, Reynolds și Prandtl (vezi p. 32). Nevoile practice au determinat și progresul acusticii. Invenția telefonului, care și-a găsit numeroase utilizări în practică, a pus acusticii probleme noi și importante. Nevoile tehnicii militare în timpul primului război mondial, arată Laue, au stimulat studiul transmiterii sunetului cu ajutorul undelor electrice, adică radioul ; necesitatea apărării împotriva submarinelor a făcut să progreseze cercetarea și aplicarea ultrasunetului (vezi pp. 40—41).

Păcat că Laue nu urmărește în toate cazurile cele mai importante influența nevoilor practice ale tehnicii și ale producției asupra dezvoltării științei. În ansamblu însă, punctul său de vedere în această chestiune este cît se poate de clar : practica este izvorul apariției științelor ; ea stimulează gîndirea științifică, punîndu-i noi probleme ; totodată, tehnica înzestrează știința cu noi instrumente de cercetare. Laue subliniază și un alt aspect al interdependenței tehnicii și a științei, a științei

și a vieții societății : prin aplicațiile ei tehnice, precum și prin ideile ei generale, știința exercită o puternică influență asupra întregii sfere a vieții indivizilor și popoarelor, „încît nici istoria politică nu poate fi înțeleasă fără luarea în considerare a acestei influențe" (p. 12).

Pentru istoria cunoașterii naturii nu este importantă numai problema relației dintre știință și practică, ci și problema relațiilor dintre diversele științe. Laue se oprește și asupra acestui aspect, expunînd o serie de teze cît se poate de corecte. El vorbește într-un mod general despre legăturile fizicii cu astronomia, cu chimia, cu mineralogia. El subliniază mai amănunțit legătura deosebit de strînsă dintre fizică și matematică : „Matematica — scrie Laue — este unealta intelectuală a fizicianului : numai ea permite enunțarea într-o formă definitivă, precisă și didactică a legilor materiale descoperite de știință...". Realizările fizicii au fost legate în modul cel mai strîns de progresele matematicii ; „De multe ori, probleme puse de fizică au declanșat direct progrese ale matematicii" (p. 14). Aceste considerații ale lui Laue sînt îndreptate, în fapt, împotriva celor care rup matematica de științele naturii, de experiență, de experiment, de practică ; împotriva celor care văd în matematică o schemă apriorică de noțiuni cu o misterioasă „logică a automișcării", care îi este inerentă.

Deosebit de interesante sînt concepțiile lui Laue asupra relației dintre fizică și filozofie și aprecierea pe care o dă opiniilor filozofice exprimate de anumiți cercetători ai naturii. În primul rînd, Laue relevă următoarea particularitate din dezvoltarea fizicii : în primele perioade „s-au ocupat de fizică și oameni pe care îi cunoaștem în primul rînd ca filozofi" (p. 14). În

această ordine de idei, el citează pe Descartes, pe Leibniz, pe Kant (cu referire la lucrările sale de cosmogonie). „Ulterior, se observă mai degrabă situația inversă: fizicieni și chimiști vin cu publicații de filozofie... În majoritatea cazurilor, este vorba despre probleme ale teoriei cunoașterii...". Laue arată: „...este în afară de orice dubiu că progresele din domeniul științelor naturii au dat un impuls important tuturor filozofilor de seamă" (p. 14). Și este perfect adevărat. Căci este greșită părerea că filozofia ar fi o „știință a științelor", care plutește undeva deasupra tuturor celorlalte științe, că ar fi absolut independentă de ele și că și-ar dicta „legile extraempirice" tuturor celorlalte științe. Filozofia autentic științifică este indisolubil legată de științele naturii, se bazează pe ele, se îmbogățește și se dezvoltă o dată cu progresele lor.

Laue menționează că, în secolul al XIX-lea, a apărut în rîndurile cercetătorilor naturii o opoziție categorică față de filozofia idealistă a lui Hegel. El subliniază că opoziția era pe deplin justificată, deoarece filozofia hegeliană nu-i recunoștea științei experimentale dreptul la existență. Laue constată însă cu regret că opoziția a fost extinsă în mod neîntemeiat asupra întregii filozofii și a mers chiar pînă la negarea oricărei teorii în științele naturii. După Laue, aceasta este o greșeală. Și în adevăr, fără o strînsă legătură a studiului naturii cu filozofia cu adevărat științifică, fără alianța lor, dezvoltarea fructuoasă a științei nu este posibilă. Empirismul, care neagă gîndirea teoretică, și pozitivismul, care încearcă să rupă știința de filozofie, tind să le opună una celeilalte și să lichideze filozofia, aduc grave prejudicii cunoașterii științifice.

În autobiografia sa, Laue arată că, încă în liceu, era pasionat de filozofie, citea cărți de istorie a filozofiei,

studia scrierile lui Kant. În anii studenției, el a continuat să se ocupe de filozofie și, după cum recunoaște chiar el, filozofia i-a transformat viața. Laue relevă marea importanță a filozofiei ca centru în jurul căruia se grupează toate celelalte științe, ceea ce dă posibilitatea menținerii unității cunoașterii științifice în condițiile specializării tot mai mari a științelor particulare.

Desigur, din punctul nostru de vedere, nu orice filozofie poate juca un astfel de rol în dezvoltarea științei. Singura filozofie adevărată a științelor naturii este materialismul dialectic.

Vorbind despre fizicieni care au scris și în domeniul filozofiei, Laue citează pe Helmholtz, pe Mach și pe Poincaré. Se știe cît sînt de răspîndite în literatura filozofică și științifică burgheză contemporană afirmațiile potrivit cărora lucrările filozofice ale lui Mach și ale lui Poincaré ar avea o deosebită valoare. Ei sînt adesea ridicați în slăvi ca creatori ai unor noi sisteme filozofice, despre care se susține că ar fi deschis o nouă eră în dezvoltarea gîndirii filozofice, în elaborarea fundamentelor teoretice ale științelor naturii. Numeroși savanți se proclamă discipoli filozofici ai lui Mach și Poincaré. În opoziție cu aceasta, M. v. Laue apreciază lucid și foarte sceptic lucrările filozofice ale acestor fizicieni. „Să-mi fie iertat — scrie Laue — dacă mă îndoiesc că au avut cu toții pregătirea filozofică necesară pentru succesul unei astfel de activități" (p. 14). Îndoielile lui Laue sînt pe deplin legitime și justificate. După cum a arătat în mod strălucit V. I. Lenin, încă în 1909, concepțiile filozofice ale lui Mach și ale lui Poincaré nu rezistă unei critici științifice. Ele sînt confuze, inconsecvente și se prezintă ca un amestec epigonic de fragmente din sistemele idealiste

infirmate de știință, îndeosebi din fragmente ale sistemului episcopului Berkeley, dar îmbrăcate într-o terminologie nouă, cvasiștiințifică.

Deși Laue consacră doar cîteva rînduri scrierilor filozofice ale lui Mach și ale lui Poincaré, sentința sa este cît se poate de clară : nu avem ce învăța de la acești autori în materie de filozofie.

Tot atît de categoric negativă este aprecierea lui Laue pentru „energetismul" lui Ostwald. El îl clasifică direct printre rătăcirile din domeniul științei, care trebuie să dispară inevitabil și-l consideră dispărut în prezent (p. 125). Spre regretul nostru, Laue nu-și dă seama că se fac astăzi încercări de a reînvia într-o nouă formă „energetismul", prin denaturări ale legii relației dintre masă și energie, $E=mc^2$.

Una dintre cele mai importante concluzii la care ajunge Laue, urmărind evoluția fizicii pînă în zilele noastre, este aceea a importanței fundamentale pe care o are principiul conservării și transformării energiei pentru cunoașterea naturii. Laue consideră că această lege este universală, neprezentînd niciodată nici un fel de excepții. El o caracterizează, pe bună dreptate, ca „piatră de încercare pentru întreaga știință a naturii" (p. 125). Această poziție fermă, clară, întemeiată din punct de vedere științific a lui Laue, este diametral opusă concepțiilor unora dintre fizicienii cunoscuți de peste hotare, care au încercat de repetate ori în ultimele decenii — și, firește, fără succes ! — să infirme această lege, fără a-și da seama că încearcă să distrugă fundamentul întregii științe a naturii. Dimpotrivă, Laue înțelege foarte bine strînsa legătură dintre fundamentele științei naturii și legea conservării și transformării energiei.

Se ştie că se conservă nu numai energia, ci şi mai multe alte mărimi fizice, de exemplu sarcina electrică. Bazîndu-se pe experienţa istoriei fizicii, Laue subliniază importanţa descoperirii mărimilor care se supun diverselor legi de conservare : „...căutarea unor cantităţi constante este o direcţie de cercetare nu numai legitimă, ci şi de cea mai mare importanţă. De altfel, ea a fost totdeauna reprezentată în fizică" (p. 122). Existenţa în ştiinţă a unor astfel de legi de conservare şi a unor mărimi care se conservă nu este întîmplătoare. Ele nu sînt o construcţie arbitrară a minţii noastre. În ele se reflectă legile conservării materiei şi mişcării. Tocmai de aceea, devine posibil ca, pe baza lor, să tragem concluzii clare, confirmate de experienţă, cu privire la legile care guvernează diversele fenomene.

Luînd ca exemplu dezvoltarea fizicii, Laue tinde să demonstreze necesitatea respectării relaţiilor corecte dintre experienţă şi teorie, necesitatea clarificării profunde a rolului fiecăreia dintre ele în progresul cunoaşterii ştiinţifice. Cartea sa este bogată în fapte experimentale, ea arată rolul decisiv al experimentului pentru crearea teoriilor. Totodată, Laue tinde să arate că experienţa, experimentul nu trebuie abordate unilateral ; în ştiinţă, experimentul şi teoria se află într-o legătură organică şi cercetătorul necălăuzit de o teorie adecvată poate chiar să piardă posibilitatea de a culege materialul experimental necesar. În lumina diverselor teorii, acelaşi material experimental capătă altă însemnătate, alt înţeles.

Astfel, arată Laue, fără sistemul lui Copernic, „nu ar fi fost descoperite nici legile lui Kepler" (p. 91), adică nu ar fi fost strînse materialele empirice iniţiale, care au servit, ulterior, ca bază pentru teoria gravitaţiei. Laue insistă mai amănunţit asupra istoriei experi-

mentului lui Fizeau, în care a fost cercetată propagarea luminii în medii în mişcare. Mult timp, acest experiment a fost analizat din punctul de vedere al teoriei ondulatorii a luminii, ca dovadă în favoarea existenţei eterului, care pătrunde toate corpurile, fără a participa însă la mişcarea lor. O dată cu apariţia teoriei relativităţii, lucrurile au suferit o schimbare radicală : experimentul a început să fie considerat ca o dovadă pentru existenţa unei noi legi de compunere a vitezelor, pentru lipsa unui eter imobil. De altfel, însuşi Laue a contribuit prin lucrările sale la elucidarea acestui fapt şi la încadrarea experimentului lui Fizeau într-un ansamblu de fapte care nu pledează pentru vechile reprezentări despre spaţiu şi timp, ci în favoarea celor noi. „Astfel, — conchide Laue, — istoria experimentului lui Fizeau este un exemplu instructiv, care ne arată în ce măsură elementele teoretice intervin în interpretarea oricărui experiment ; ele nu pot fi nicidecum eliminate. Şi dacă teoriile se schimbă, atunci o dovadă categorică pentru una devine uşor un argument tot atît de puternic în favoarea celei opuse“ (p. 98).

Fără voie, ne revin aici în minte indicaţiile lui V. I. Lenin referitoare la necesitatea de a aborda dialectic criteriul practicii. Lenin subliniază că criteriul practicii este suficient de clar pentru ca, la fiecare moment dat, să putem deosebi o himeră de realitatea autentică, o născocire de o propoziţie ştiinţifică. Dar el nu este atît de clar, încît să confirme sau să infirme total, definitiv, o dată pentru totdeauna, cutare sau cutare teză a ştiinţei. Laue se apropie aici mult de această idee profundă, exprimată de Lenin în *Materialism şi empiriocriticism.*

În alte lucrări, Laue revine iarăşi, într-un fel sau altul, la problema legăturii dintre experiment şi teorie.

În autobiografia sa, el subliniază în mod special valoarea ipotezei ştiinţifice pentru cunoaşterea naturii, dînd ca exemplu descoperirea interferenţei radiaţiilor Röntgen. Este un exemplu bun şi sugestiv ! Experimentele lui Friedrich şi Knipping au fost decisive pentru demonstrarea capacităţii de a interfera a radiaţiilor Röntgen, adică pentru a demonstra că ele au proprietăţi ondulatorii. În esenţă însă, astfel de experimente fuseseră făcute de numeroşi fizicieni, cu mult timp înaintea lui Friedrich şi Knipping. Dar, deoarece nu erau călăuziţi de o ipoteză care să afirme posibilitatea interferenţei radiaţiilor Röntgen, deoarece nu au recurs la ipoteza reţelei spaţiale a cristalelor, fizicienii şi-au concentrat atenţia numai asupra fasciculului de raze central, care trecea netransformat prin cristal. Nimeni nu a observat razele deviate, mult mai puţin intense, sau nu le-a dat atenţie. Numai ipoteza reţelei spaţiale a cristalului şi ipoteza proprietăţilor ondulatorii ale radiaţiilor Röntgen le-au permis cercetătorilor să-şi concentreze atenţia asupra acestui efect, care părea secundar. Tocmai datorită acestui fapt s-a putut realiza o descoperire esenţială, de importanţă principială.

Am vrea să relevăm încă o teză din cartea lui Laue. Ea se referă la rolul lucrătorilor ştiinţifici de rînd în dezvoltarea fizicii. Conturînd tabloul evoluţiei fizicii, istoricul este nevoit, inevitabil, să vorbească numai despre descoperirile cele mai însemnate, despre teoriile şi ideile cele mai importante, care au jucat rolul cel mai mare în înaintarea fizicii de la o etapă la alta. Istoricul aminteşte numai despre vîrfurile cercetării ştiinţifice şi menţionează numai pe cei ce le-au realizat. Rămîn în umbră mii de cercetători modeşti, care au slujit cu abnegaţie ştiinţa. Să fi fost munca lor inutilă, zadarnică ? Nicidecum ! Laue menţionează că munca

lor a fost o condiţie indispensabilă pentru succesul dezvoltării fizicii, o condiţie fără de care aceasta nu ar fi putut să ajungă la nivelul ei înalt de astăzi. El declară, în mod corect, că fizica nu poate fi considerată drept rezultat al activităţii pe care au depus-o numai anumiţi savanţi de seamă ; ea este rodul muncii colective a tuturor cercetătorilor care şi-au consacrat forţele studiului fizicii. Numai colaborarea modestă a celor mulţi a putut să facă faţă imensităţii de observaţii şi calcule necesare şi a asigurat continuitatea progresului, numai multiplicitatea de interese şi talente a împiedicat o stagnare a cercetării prin concentrare exclusivă pe cîteva direcţii ; opera lor a constituit şi constituie premisa indispensabilă pentru posibilitatea unor realizări proeminente sau chiar geniale. Fizica este, cel puţin de la sfîrşitul secolului al XVII-lea, o creaţie colectivă. Şi aceasta este, de asemenea, un fapt istoric (p. 17).

Am vorbit despre meritele cărţii lui M. v. Laue. Am mai putea adăuga felul cum apreciază rolul unor idei din fizică, care au cucerit pînă la urmă o recunoaştere unanimă ; astfel este ideea de interferenţă care, după cum spune Laue, „este... una dintre cuceririle cele mai de preţ ale fizicii" (p. 55) ; ideea lui Boltzmann despre relaţia dintre entropie şi probabilitate, „...una dintre cele mai profunde idei ale întregii fizici" (p. 140). În carte se arată în mod just inevitabilitatea falimentului concepţiei mecaniciste asupra naturii etc.

Dar trebuie să spunem cîte ceva despre unele lipsuri ale *Istoriei fizicii.* Autorul şi-a construit cartea ca o culegere de expuneri separate ale istoriei diverselor capitole ale fizicii actuale : mecanica, teoria gravitaţiei, optica, electrodinamica, termodinamica, atomistica, fizica cristalelor etc. În fapt, el a renunţat la încercarea de a prezenta istoria fizicii ca pe un proces

unitar, în care fizica evoluează de la o etapă la alta, ca un întreg cu trăsăturile sale caracteristice, proprii fiecărei epoci istorice şi care-şi pun amprenta netă asupra tuturor capitolelor ei, oricît ar fi acestea de diferite unele de altele.

Cînd Newton a creat fundamentele mecanicii clasice, aceasta a fost un eveniment nu numai pentru mecanică, ci şi pentru celelalte ramuri ale fizicii. Teoria electricităţii, precum şi optica s-au dezvoltat mult timp sub influenţa determinantă a ideilor mecanicii. Cînd a apărut electrodinamica lui Faraday-Maxwell, ideile ei au influenţat într-un mod decisiv şi alte domenii ale fizicii, iar în această epocă, întreaga fizică, în ansamblul ei, a căpătat un alt caracter decît fizica perioadei precedente. Tot astfel, descoperirea cuantelor de energie a deschis o nouă epocă în fizică, şi, mai curînd sau mai tîrziu, într-un fel sau altul, ea a afectat toate capitolele ei. Regretăm că Laue nu desprinde aceste perioade de cotitură în dezvoltarea ansamblului fizicii, că nu arată trăsăturile esenţiale ale fizicii ca ştiinţă unitară, pe diversele ei trepte de dezvoltare. Aceasta, în primul rînd.

Al doilea aspect care trebuie relevat constă în anumite inexactităţi în prezentarea contribuţiei diverşilor savanţi la dezvoltarea fizicii. Astfel, vorbind despre descoperirea legii conservării masei, autorul îl citează pe Lavoisier. Nu avem cîtuşi de puţin intenţia să minimalizăm marele rol al lui Lavoisier în cunoaşterea naturii, dar este necesar să arătăm că, înaintea sa, M. V. Lomonosov a dat o demonstraţie experimentală conservării masei în reacţiile chimice, iar rezultatele cercetărilor sale au fost tipărite în publicaţii bine cunoscute în Europa... Este indicată greşit data experimentului lui P. M. Lebedev pentru măsurarea presiunii radiante :

experimentul nu a fost efectuat în 1901, cum spune Laue, ci în 1899, rezultatele corespunzătoare fiind publicate și în presa științifică. Nu putem fi de acord cu părerea autorului că Lothar Meyer ar avea tot atîta drept cît și D. I. Mendeleev la onoarea de a fi descoperitorul sistemului periodic al elementelor chimice...

Laue refuză să dea o apreciere pozitivă întregii literaturi fizice din domeniul atomisticii, care a apărut înainte de 1800, făcînd excepție numai pentru un articol dat uitării al lui Daniel Bernoulli. Este o nedreptate. Dacă autorul ar fi cunoscut lucrările lui M. V. Lomonosov din domeniul atomisticii ar fi vorbit despre ele în mod amănunțit...

Am mai putea indica și alte inexactități similare, strecurate în cartea lui Laue.

Unele lipsuri sînt legate de interpretarea incorectă și inconsecventă a legii relației dintre masă și energie, $E=mc^2$. Laue o denumește „legea inerției energiei", ca și cum energia ca atare ar avea inerție. În realitate, are inerție obiectul material care posedă și masa, și energia. Autorul corectează parțial deficiența acestei terminologii, arătînd că sus-menționata lege este folosită cel mai frecvent în următoarea formă: masa unui corp este egală cu energia sa, împărțită prin pătratul vitezei luminii. În acest enunț se vede mai clar că masa și energia sînt lucruri diferite, dar nu rupte unul de celălalt, ci indisolubil legate. El arată, de asemenea, că inerția este o proprietate a unui obiect material și nu a energiei acestuia. Dar Laue nu face numai această greșeală, ci și una mai importantă, cînd declară că, la transformarea electronului și a pozitronului în cuante γ, masa lor se transformă în energie (p. 150). Într-un alt loc, el afirmă chiar că electronul și pozitronul s-ar putea transforma integral în energie ra-

diantă (p. 128). Ne izbeşte, în primul rînd, faptul că aceste două afirmaţii sînt contradictorii. Dacă în prima se proclamă că masa (una dintre proprietăţile obiectelor materiale) se transformă în energie, în a doua se spune că electronul şi pozitronul (adică obiecte materiale) se transformă în energie. Nu avem nici un fel de temei pentru a identifica masa cu obiecte materiale. De altfel, nu face impresia că Laue s-ar situa pe acest punct de vedere; cel puţin, el nu încearcă nicăieri să demonstreze identitatea lor. Este oare posibil ca electronul şi pozitronul să se transforme în energie? Nu avem nici un fel de date care să confirme această părere. Perechea electron-pozitron se transformă în cuante γ, însă acestea nu sînt energie, ci particule materiale care posedă energie. Într-un alt loc al cărţii, însuşi Laue vorbeşte despre natura materială a cîmpului electromagnetic, calificîndu-l drept o „realitate fizică de sine stătătoare", şi nu drept o simplă modificare (mişcare) a eterului, cum susţinea vechea teorie.

După cum am arătat, Laue consideră „energetismul" lui Ostwald drept o rătăcire. Idealiştii „fizici" contemporani încearcă să reînvie această rătăcire, folosind orice neclaritate şi inconsecvenţă din interpretarea legii relaţiei dintre masă şi energie. Laue nu-şi dă seama de acest pericol. Acesta pare să fie motivul pentru care a preluat necritic o terminologie confuză, larg răspîndită în literatura din străinătate, şi chiar anumite reprezentări greşite.

Ne vom mai ocupa, în încheiere, de două afirmaţii ale lui Laue. Una se referă la noţiunea de timp, iar cealaltă la esenţa definiţiilor ştiinţifice.

Începînd expunerea asupra problemei măsurării timpului, autorul declară: „Kant are în orice caz dreptate cînd prezintă timpul ca pe o formă a intuiţiei,

inerentă raţiunii umane" (p. 20). Dacă ar fi aşa, timpul ar pierde orice conţinut obiectiv. Dar nu este aşa, deoarece timpul nu există în conştiinţa noastră, ci în afara ei şi este o formă reală şi obiectivă de existenţă a materiei, care se reflectă în conştiinţa noastră prin anumite noţiuni mai mult sau mai puţin adecvate asupra timpului. În fapt, Laue se abate, într-un fel sau altul, de la concepţia lui Kant şi vorbeşte, în restul expunerii, despre timp ca despre ceva obiectiv, exterior sferei conştiinţei şi percepţiilor noastre. Acesta este spiritul în care el tratează, de exemplu, transformările Lorentz pentru timp şi spaţiu. Mai tîrziu, referindu-se la dimensiunile spaţiului, Laue subliniază că ele stau în faţa intuiţiei noastre, adică sînt exterioare intuiţiei, conştiinţei noastre.

Trebuie să spunem însă că aprecierea favorabilă dată concepţiilor lui Kant asupra spaţiului şi timpului nu este întîmplătoare la Laue. Într-un articol recent, *Einstein şi teoria relativităţii* („Naturwissenschaften", nr. 1, 1956), Laue afirmă că Kant ar fi demonstrat că spaţiul şi timpul sînt forme ale intuiţiei umane. Aşadar, el nu a depăşit influenţa lui Kant în această chestiune.

Fără a analiza mai amănunţit esenţa problemei, Laue vorbeşte în treacăt despre definiţia ştiinţifică. El declară că „definiţiile sînt convenţii între oameni" (p. 94). Nu putem să nu ridicăm obiecţii împotriva interpretării definiţiilor ştiinţifice ca fiind „convenţii între oameni". Definiţiile nu sînt rezultatul unui arbitrar, al unei înţelegeri subiective şi convenţionale între oameni. O definiţie ştiinţifică corectă exprimă esenţa fenomenului şi este determinată de natura lui obiectivă.

Cînd spunem că electronul este una dintre particulele „elementare", care nu constă din nici un fel de

alte particule astăzi cunoscute, care posedă cutare sarcină electrică, cutare masă şi cutare spin, am dat definiţia electronului. Despre ce „convenţie" poate fi vorba aici ? Asupra ce anume am „convenit" ? Ce este aici arbitrar, sau subiectiv ? Nimic în afară de denumirea „electron". Desigur, această particulă putea să aibă alt nume, însă aceasta nu are nici o legătură cu esenţa definiţiei. De exemplu, în urmă cu 20 de ani, electronul era definit altfel decît astăzi. Dar nici această definiţie nu era „o convenţie între oameni", ci îi era impusă omenirii de date obiective şi conţinea acel „sîmbure de adevăr obiectiv", pe care M. v. Laue îl prezintă atît de bine în *Istoria fizicii.*

Cartea lui Laue se impune prin apărarea clară şi hotărîtă a adevărului obiectiv al fizicii, bazată pe convingerea în obiectivitatea lumii exterioare, pe care o cercetează fizica. Acolo unde autorul s-a abătut, într-un fel sau altul, de la această poziţie fundamentală, acolo au apărut şi lipsurile cărţii.

Mica autobiografie publicată în anexă, *Drumul meu în fizică*, prezintă principalele jaloane ale vieţii şi ale activităţii lui Laue, ne arată trăsăturile sale ca savant, interesele sale ştiinţifice. Ea exprimă şi mai pregnant decît *Istoria fizicii* tendinţa antinazistă, antihitleristă a lui Laue, ura sa faţă de respingătoarea discriminare rasială.

În această scurtă autobiografie, cititorul va găsi, de asemenea, detalii foarte interesante caracterizînd personalitatea şi creaţia unor figuri proeminente ca M. Planck, W. C. Röntgen etc. Autobiografia lui Laue apare, de aceea, ca un fel de continuare şi completare a *Istoriei fizicii.*

INDICE DE NUME

Abbe, Ernst (1840—1905) 50
Abraham, Max (1875—1922) 82, 83
Adams, J.C. (1818—1892) 46
Adelsberg, Eberhard Udo 23
Airy, George Bidell (1801—1892) 97
d'Alembert, Jean Le Rond (1717—1783) 29, 31
Ampère, André-Marie (1775—1836) 70, 71, 73, 74, 81
Anderson, Carl David (n. 1905) 146
Apinus, Franz Ulrich Theodor (1724—1802) 62, 63, 163
Arago, Dominique-François (1786—1853) 54, 55, 70
Arhimede (287—212 î.e.n.) 10, 25
Aristarh din Samos (310—230 î.e.n.) 88
Aristotel (384—322 î.e.n.) 9, 26, 44, 86
Armati, Salvino degli (sec. XIII) 49
Arrhenius, Svante (1859—1927) 12, 69, 141
Aston, Francis William (1877—1945) 148
Avogadro, Amedeo (1776—1856) 135, 138

Babinet, Jacques (1794—1872) 99
Bacon, Roger (1214—1294) 49
Balmer, Johann Jakob (1825—1898) 187, 190
Barkla, Charles Glower (1874—1944) 56, 169
Barlow, William (1845—1934) 169
Becker, H. 157
Becquerel, Jean (n. 1878) 153
Becquerel, Henri (1852—1908) 152
Bell, Alexander Graham (1847—1922) 40
Berg, Otto (1874—1939) 169
Bergman, Tobern (1735—1784) 166
Bernoulli, Daniel (1700—1782) 31, 135
Bernoulli, Johann (1667—1748) 119
Berthelsen (Bartholinus), Erasmus (1625—1698) 163
Bethe, Hans Albrecht (n. 1906) 129, 171
Bezold, Wilhelm v. (1837—1907) 78
Biot, Jean-Baptiste (1774—1862) 48, 53, 70, 117, 165
Bitchell, D.P. 171
Black, Joseph (1728—1799) 113, 115
Blackett, Patrick Maynard Stuart (n. 1897) 150, 157
Bodenstein, Max (1871—1942) 183
Bohr, Niels (n. 1885) 52, 146, 186, 187, 188, 189, 190, 193
Boltzmann, Ludwig Eduard (1844—1906) 77, 125, 136, 137, 139, 140, 144 149, 175, 178, 180
Born, Max (n. 1882) 190, 191
Borrmann, G. 172

Bothe, Walter 157 (1891—1957) 157
Boyle, Robert (1627—1691) 12, 16, 53
Bradley, James (1693—1762) 52, 97
Bragg, William Henry (1862—1942) 169, 170
Bragg, William Lawrence (n. 1890) 169, 172
Brahé, Tycho (1546—1601) 43
Bravais, Auguste (1811—1863) 167
Brewster, David (1781 — 1868) 165
Briggs, Henry (1556—1630) 14
Broek, Jan Atram van den 146
Broglie, Louis-Victor-Pierre-Raymond de (n. 1892) 50, 170, 189, 190
Brown, Robert (1773—1858) 141
Brugmans, Anton (1732—1789) 64
Bruno, Giordano (1548 — 1600) 11, 44, 87
Bucherer, Alfred Heinrich (1863—1927) 35
Bunsen, Robert Wilhelm (1811—1899) 174
Bürgi, Jost (1552—1617) 14
Bush, Hans 35

Chladni, Ernst Lorenz Friedrich (1756—1827) 39, 48
Clapeyron, Bénoit-Paul-Émile (1799—1864) 131
Clausius, Rudolf Emanuel (1822—1888) 115, 130, 131, 132, 136, 137, 139
Cleve, Per Teodor (1840—1905) 173
Clusius, Klaus 139
Colding, Ludwig August (1815—1888) 121
Colladon, Jean-Daniel (1802—1892) 39
Columb, Cristofor (1446—1506) 10, 61
Compton, Arthur Holly (1892—1958) 169, 184
Copernic, Nicolai (1473—1543) 10, 11, 43, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 104
Coriolis, Gaspard-Gustave (1792—1843) 31
Corson, D. R. 161
Coulomb, Charles-Auguste de (1736—1806) 64, 65, 66, 72
Crookes, William (1832—1919) 142
Curie, Irène-Joliot (1897 — 1956) 157, 158, 159
Curie, Marie (1867—1934) 152
Curie, Pierre (1859—1906) 84, 152, 154, 165

Carnot, Sadi (1796—1832) 115, 120, 130
Cauchy, Augustin-Louis (1789—1857) 32, 76
Cavendish, Henry (1731 — 1810) 12, 30, 45, 64
Celsius, Anders (1701—1744) 113, 114
Cerenkov, P.A. 60
Chadwick, James (n. 1891) 146, 157, 158
Chapman, Sidney (n. 1888) 139

Dalton, John (1766—1844) 112, 135
Darwin, Charles Galton (n. 1887) 171
Davisson, Clinton Joseph (n. 1881) 171, 190
Davy, Humphrey (1778—1829) 12, 69, 121
Debye, Petrus-Josefus-Wilhelmus (n. 1884) 85, 171, 178, 184, 185, 188, 191
Democrit (460—371 i.e.n.) 135

Dempster, Arthur Jeffrey 149
Descartes, René (1596—1650) 14, 43, 49, 52, 91
Dewar, James (1842—1923) 117
Dolland, John (1706—1761) 51
Dootson, Frederick William (1863—1929) 139
Doppler, Christian (1803—1853), 13, 40, 98, 99, 103, 176
Dorn, Friedrich, Ernst (1848—1916) 153
Duane, William (1872—1935) 184
Dulong, Pierre-Louis (1785—1838) 138
Du Mond, Jesse 56, 151
Dunoyer, Louis 139

Eddington, Arthur Stanley (1884—1944) 107
Edison, Thomas Alva (1847—1931) 40, 70
Ehlenbeck, G.E. 188
Ehrenhaft, F. Albert (1879—1952) 144
Einstein, Albert (1879—1955) 35, 36, 46, 83, 88, 102, 105, 108, 109, 141, 178, 182, 183, 185, 192
Elsasser, Walter 170, 190
Elster, Julius (1854—1920) 155
Eötvcs, Roland v. (1849—1919) 105
Enskog, David 139
Epstein, Paul, S. 187
Eratostene (275—194 î.e.n.) 10
Euler, Leonhard (1707—1783) 31, 119
Ewald, Peter Paul 171
Ewing, James Alfred (1855—1935) 84

Fahrenheit, Gabriel Daniel (1686—1736) 111, 113
Fajans, Kasimir (n.1887) 155
Faraday, Michael (1791—1867) 47, 59, 64, 66, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 81, 116, 126, 141
Feddersen, Behrend Wilhelm (1832—1912) 78
Fedorov, Evgraf Stepanovici (1853—1919) 167
Fermat, Pierre de (1609—1655) 49
Fermi, Enrico (1901—1954) 147, 158, 171
Fitzgerald, George (1851—1901) 142
Fizeau, Armand (1819—1896) 52, 97
Flerov, G. N. 159
Forest, Fernand (1851—1914) 22
Foucault, Léon (1819—1868) 52, 95
Fourier, Jean-Baptiste-Joseph (1768—1830) 40, 117, 118
Franck, James (n. 1882) 60, 183, 185
Frankenheim, Moritz Ludwig (1801—1869) 167
Franklin, Benjamin (1706—1790) 39, 63, 64
Fraunhofer, Joseph v. (1787—1826) 51, 55, 174
Fresnel, Augustin-Jean (1788—1827) 55, 56, 57, 58, 97
Friedman, A. (1880—1925) 109
Friedrich, Walther 56, 168
Frisch, Oskar Robert (n. 1904) 159

Gadolin, Alex (1828—1892) 164
Galilei, Galileo (1564—1642) 11, 12, 13, 21, 26, 30, 38, 42, 52, 88, 89, 91, 92, 95, 104, 111, 118
Galle, Johann Gottfried (1812—1910) 46
Galvani, Luigi (1737—1798) 67

Gamow, George (n. 1904) 156, 191
Gauss, Carl Friedrich (1777—1855) 50, 65, 66, 71, 166
Gay-Lussac, Joseph-Louis (1778—1850) 70, 112, 121, 136
Geiger, Hans (1881—1945) 145, 154, 155, 156, 192
Geitel, Hans Friedrich (1855—1923) 155
Gerlach, Walther (n.1889) 189
Germer, Lester Halbert 171, 190
Gibbs, Josiah Willard (1839—1903) 132, 140
Giesel, Friedrich (1857—1927 153
Gilbert, William (1540—1603) 61, 66
Goldstein, Eugen (1850—1930) 142
Goudsmit, Samuel 188
Gouy, L. George (1854—1926) 56
Graaff, E.J. van de 63
Gray, Stephen (1670—1736) 62
Green, George (1793—1841) 65
Grimaldi, Francesco Maria (1618—1663) 53
Groth Paul v. (1843—1927) 167
Guericke, Otto v. (1602—1686) 30, 39, 57, 62, 111
Guglielmini, Domenico (1655—1710) 163
Guye, Charles Eugène (1866—1942) 35

Haas, Wander Johannes de 80
Hahn, Otto (n. 1879) 153, 159, 160, 161
Halban, Hans v. jr. 160
Hall, Chester Moor (1704—1770) 51
Hallwachs, Wilhelm (1859—1922) 182
Hamilton, William Rowand (1805—1865) 32, 34, 50
Harteck, Paul 158
Haüy, René-Just (1743—1822) 166
Heisenberg, Werner (n.1901) 85, 147, 190, 192
Heiting, Th. 150
Heitler, Walter 192
Helmholtz, Hermann v. (1821—1894) 14, 15, 32, 33, 40, 50, 77, 82, 123, 124, 126, 128, 132, 135
Helmont, J.V. van (1577—1644) 30
Henderson J. 60
Heron din Alexandria (sec. al II-lea e.n.) 50
Herschel, Friedrich Wilhelm (1738—1822) 51
Herschel, John Friedrich William (1792—1871) 165
Hertz, Heinrich (1857—1894) 47, 58, 76, 77, 78, 142, 143, 182, 185
Hess, Victor Frank (n. 1888) 146
Hessel, Johann Friedrich Christian (1796—1872) 164
Hevesy, Joseph Georg v. (n. 1885) 169
Hittorf, Johann Wilhelm (1824—1914) 69, 142
Hoff, Jacobus Hendricus van't (1852—1911) 12, 132, 150, 191
Hooke, Robert (1635—1703) 30, 43, 53, 166
Horstmann, August (1842—1929) 132
Hubble, Edwin (1889—1953) 109
Huggins, William (1824—1910) 98
Hughes, David Edwood (1831—1900) 40
Humboldt, Alexander v. (1769—1859) 68
Hunt, Franklin Livingtone 184

Huygens, Christian (1629—1695) 12, 21, 22, 23, 26, 49, 53, 54, 55, 119, 163, 166

Illingworth, K.K. 100
Isle, Jean-Baptiste-Rome de l' (1736—1790) 163
Ivanenko, D. (n. 1904) 147
Ives, H.J. 103

Jacobi, Carl Gustav Jacob (1804—1851) 32, 125
Jansky, K.G. (1905—1950) 13
Janssen, Jules (1824—1907) 174
Jeans, James Hopwood (1877—1946) 177
Jlücker, Julius (1801—1868) 142
Johnson, Thomas Hope, 171, 190
Joliot, Jean-Frédéric Curie (1900—1958)157, 158, 159, 160
Jolly, Philipp v. (1809—1884) 181
Joos, Georg 100
Jordan,Pascual (n. 1902)190
Joule, James Prescott (1818—1889) 116, 122, 136

Kamerlingh-Onnes, Heike (1853—1926) 79, 117
Kant, Immanuel (1724—1804) 14, 20, 93
Kelvin, Lord of Largs vezi Thomson William
Kennedy, I.W. 100, 161
Kepler, Johannes (1571—1630) 14, 43, 44, 49, 87, 91, 162, 165, 170
Kirchhoff, Gustav Robert (1824—1887) 29, 56, 71, 173, 174, 175
Kleist, Ewald Georg v. (născut după 1700, mort 1748) 62
Klemperer, Otto 150
Knipping, Paul (1883—1935) 56, 168
Knoblauch, Carl Hermann (1820—1895) 56
Knudsen, Martin (1871—1949) 139
Kohler, Max 171
Kohlrausch, Friedrich (1840—1910) 69
Kohlrausch, Fritz W.G. (1887—1953) 156
Kohlhörster, Werner (1887—1946) 146
Kossel, Walther (1888—1956) 146, 172, 188
Kowarski, L. 160
Krönig, August Karl (1822—1879) 136
Kundt, August (1839—1894) 59
Kurlbaum, Ferdinand (1857—1927) 177

Laborde, A. 154
Lagrange, Joseph-Louis(1736—1813) 31, 32, 45
Lambert, Johann Heinrich (1728—1777) 174
Landolt, Hans (1831—1910) 28, 127
Lange, Ludwig (1863—1936) 93, 94, 95
Langevin, Paul (1872—1946) 41, 84, 85
Laplace, Pierre-Simon de (1749—1827) 31, 39, 45, 46, 65, 113
Larmor, Joseph (1857—1942) 59, 141
Laue, Max v. (1879—1960) 80, 93, 104, 168, 171, 172, 180, 184
Lavoisier, Antoine-Laurent (1743—1794) 11, 12, 28, 30, 113
Lebedev, Piotr (1866—1911) 126
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646—1716) 14, 27, 32, 93, 119
Lemaître, G. 109

Lenard, Philipp (1862—1947) 143, 182
Lenz, Heinrich Friedrich Emil (1804—1865) 72, 79
Leverrier, Urbain-Jean-Joseph (1811—1877) 46
Lichtenberg, Georg Christoph (1742—1799) 48
Liebig, Justus v. (1803—1873) 123
Liénard, Alfred-Marie 78
Linde, Karl (1842—1934) 116, 117
Lippmann, Gabriel (1845—1921) 80
London, Fritz (1900—1954) 192
Lorentz, Hendrik Antoon (1853—1928) 58, 59, 77, 83, 100, 101, 102, 127, 141, 143, 175, 176
Loschmidt, Joseph (1821—1895) 137, 138, 144
Lowell, Percival (1855—1916) 46
Ludwig, Karl (1816—1895) 139
Lummer, Otto (1860—1925) 174, 177

Mach, Ernst (1838—1916) 14, 60, 98, 107, 108, 109, 115
Magnus, Heinrich Gustav (1802—1870) 112, 135
Majorana, Quirino (1871—1957) 98
Malus, Etienne-Louis (1775—1812) 54
Mariotte, Edme (1620—1684) 12, 16
Mark, Hermann (n.1895) 191
Maricourt, Pierre de 61
Marrison, Warren Alwin 23
Marsden, Ernest 145
Marshall, L. 171
Mather, R.L. 60
Mattauch, Joseph(n.1895)149
Maupertuis, Pierre-Louis Moreau de (1698—1759)32
Maxwell, James Clark (1831—1879) 47, 57, 59, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 104, 126, 137, 138, 139
Mayer, Julius Robert v. (1814—1878) 15, 113, 121, 122, 123, 128
McKenzie, K.R. 161
McMillan, E.C. 161
Meissner, A. 23
Meissner, Walther 80, 81
Meitner, Lise (n. 1878) 153, 155, 159, 161
Melloni, Macedonio (1797—1854) 55
Mendeleev, Dmitri Ivanovici (1834—1907) 145
Menter, J.W. 50
Menzer, Georg 170
Mersenne, Marin (1588—1648) 39
Meyer, Edgar 156
Meyer, Lothar (1830—1895) 145
Meyermann, Bruno 24
Michelson, Albert Abraham (1852—1931) 52, 95, 100, 101, 103
Mie, Gustav (1868—1957) 126
Miller, Dayton Clarence (1866—1941) 100
Miller, William Hallows (1801—1880) 164
Millikan, Robert Andrews (1868—1955) 144, 183
Minkowski, Hermann (1864—1909) 104
Mohs, Friedrich (1773—1839) 164
Morley, Edward William (1838—1923) 100
Moseley, Henry Gwyn Jeffreys (1887—1915) 145,169
Müller, Johann Heinrich Jacob (1809—1875) 56
Musschenbrock, Pieter van (1692—1761) 62

*N*aumann, Carl Friedrich (1797—1873) 164
Neper (Napier), John (1550—1617) 14
Nernst, Walter (1864—1941) 13, 69, 115, 133, 134, 141, 185
Neumann, Franz Ernst (1798—1895) 58, 73, 164
Newton, Isaac (1643—1727) 14, 26, 30, 31, 39, 43, 45, 47, 50, 53, 54, 78, 81, 92, 93, 95, 104, 107, 119
Noble, H.R. 103
Noddack, Walther Karl Friedrich (1893—1960)169
Nuttall, J.M. 155, 192

*O*cchialini, G.P.S. 150
Ochsenfeld, R. 80
Ohm, Georg Simon (1787—1854) 40, 71, 80
Oliphant, Marcus Laurence Elwin (n. 1901) 158
Olszewski, Karol Stanislaw (1846—1915) 117
Örstedt, Hans Christian (1777—1851) 70
Osiander, Andreas (1498—1552) 88
Ostwald, Wilhelm (1853—1932) 12, 125
Otting, Gerhard (1914—1945) 103

*P*aracelsus (1493—1541) 30
Pascal, Blaise (1623—1662) 30
Paschen, Friedrich (1865—1947) 52, 187
Pauli, Wolfgang (n. 1900) 188
Perrier, G. 30, 161
Perrin, Jean-Baptiste (1870—1942) 142
Petit, Alexis-Thérèse (1791—1820) 138
Petrjak, K.A. 159
Picard, A. 100
Pictet, Marcus-Auguste (1752—1825) 173
Pitagora (570—496 î.e.n.) 38
Planck, Max (1858—1947) 33, 35, 120, 125, 126, 132, 133, 134, 140, 144, 177, 178, 181, 186, 188, 189, 193
Platon (427—347 î.e.n.) 9
Plücker, Julius (1801—1868) 142
Poincaré, Henri (1854—1912) 14, 77, 102, 127
Poinsot, Louis (1777—1859) 31
Poiseuille, Jean-Léon (1799—1869) 32
Poisson, Siméon-Denis (1781—1840) 45, 65
Poncelet, Jean-Victor (1788—1867) 119
Powers, P.N. 171
Poynting, J.H. (1852—1914) 76, 126
Prandtl, Ludwig (1875—1953) 32
Prévost, Pierre (1751—1839) 173
Pringsheim, Ernst (1859—1917) 177
Priestley, Joseph (1733—1804) 30, 64
Prout, William (1785—1850) 145
Ptolemaeus, Claudius (90—168 î.e.n.) 86, 87, 91

*R*amsaner, Carl (1879—1955) 191
Ramsay, William (1852—1916) 30, 153, 174
Ratnowsky, Simon (1884—1945) 35
Rayleigh, Lord (1842—1919) 30, 32, 177
Réaumur, René (1683—1757) 113

Regener, Erich (1887—1955) 156
Regnault, Henri-Victor (1810—1870) 112
Reiss, Philipp (1834—1874) 40
Reynolds, Osborne (1842—1912) 32
Ritter, Johann Wilhelm (1776—1810) 51, 68
Robertson H.P., 109
Römer, Olaus (1644—1710) 52, 97
Röntgen, Wilhelm Conrad (1845—1923) 18, 50, 56, 77, 152
Rosenberger, F. 7
Rowland, Henry (1848—1901) 73
Royds, Thomas 154
Rubens, Heinrich (1865—1922) 177
Rubinowicz, Adalbert 56
Ruhmer, Ernst (1878—1913) 22
Rumford, Benjamin vezi Thomson, Benjamin
Russel, Alexander Smith 155
Rutherford, Daniel (1749—1819) 30
Rutherford, Ernest lord (1871—1937) 16, 117, 143, 145, 153, 154, 157, 158, 159, 186, 191
Rydberg, J. (1854—1919) 52, 187

Sadler, C.A. 169
Sauveur, Joseph (1653—1716) 39
Savart, Félix (1791—1841)70
Scheele, Karl Wilhelm(1742—1786) 30, 173
Scheibe, Adolf(1895—1958)23
Schmidt, Gerhard C. 153
Schnetzler, K. 157, 158
Schoenflies, Arthur (1853—1928) 167
Schottky, Walther (n. 1887) 133
Schrödinger, Erwin (n. 1887) 118, 189, 190, 192
Schwartzschild, Karl (1873—1916) 187
Schweidler, Egon v. (1873—1948) 153, 156, 158, 178, 192
Schwerd, Friedrich Magnus (1792—1871) 51, 55, 168
Seaborg, G.T. (n. 1912) 161
Seebeck, Thomas Johann (1770—1831) 68
Seeber, Ludwig August (1793—1855) 136, 166, 170
Segré, E. 161
Siemens, Werner v. (1816—1892) 15, 72
Simon, Franz 133
Sitter, W. de (1878—1934) 109
Smoluchowski, Maryan v. (1872—1917) 141
Smyth, H.D. 160
Snell, Wilibrord (Snellius) (1591—1626) 49
Soddy, Frederick (1877—1956) 117, 147, 153, 154, 155
Sohncke, Leonhardt (1842—1897) 166, 167, 168
Sommerfeld, Arnold (1868—1951) 57, 186, 187, 188
Soret, Charles (1854—1904) 139
Stahel, Ernst 100
Stark, Johannes (1874—1957) 98, 186, 187
Stefans, Josef (1835—1893) 175
Stensen, Niels (1638—1686) 162
Stenström, Karl Wilhelm 171
Stern, Otto (n. 1888) 137, 171, 189, 190
Stevin, Simon (1548—1620) 25
Stilwell, G.R. 103

Stokes, George Gabriel (1819—1903) 56
Stoney, Johnstone (1826—1911) 141
Strassmann, Fritz (n. 1902) 159, 161
Sturm, Jakob Franz (1803—1855) 39

Tacke, Ida Eva 169
Tamm, Igor (n. 1895) 60, 147
Thilorier, 116
Thomson, George Paget (n. 1892) 171, 190
Thomson, Joseph John (1856—1940) 142, 143,148, 187
Thomson, William (Lord Kelvin) (1824—1907) 77, 116, 124, 130, 165
Thompson, Benjamin (conte de Rumford) (1753—1814) 120
Tomaschek, R. 103
Tombaugh, Clyde (n. 1906) 46
Torricelli, Evangelista (1608—1647) 30, 57, 111
Townley, Richard (secolul al XVII-lea) 16
Travers, M.W. (n. 1872) 30
Trouton, Frederick Thomas (1863—1922) 103

Urey, Harolty Clayton (n. 1893) 149

Varley, Cromwell Fleetwood (1828—1883) 142
Villard, Paul (1860—1934) 154
Voigt, Woldemar (1850—1919) 101, 165
Volta, Alessandro (1745—1827) 63, 67, 68, 69

Wahl, E.C. 161
Waldmann, L. 139
Warburg, Emil (1846—1931) 68, 84, 183
Watt, James (1736—1819) 15, 115
Weber, Heinrich Friedrich (1842—1913) 185
Weber, Wilhelm (1804—1891) 71, 72, 73
Weiss, Christian Samuel (1780—1856) 164
Weiss, Pierre-Ernest (1865—1940) 84, 85
Weizsäcker, Carl Friedrick v. (n. 1912) 128
Weyl, H. (n. 1885) 108
Wiechert, Emil (1861—1928) 56, 78, 142, 143
Wien, Wilhelm (1864—1928) 56, 142, 148, 173, 175, 176, 177
Wiener, Otto Heinrich (1862—1927) 58
Wierl, Raimund (1904—1932) 191
Wilcke, Johann Carl (1732—1796) 63, 113
Wilson, Charles Thomson Rees (n. 1869) 143
Wollaston, William Hyde (1766—1828) 51
Wroblewski, Szygmunt Florenty von (1845—1888)117
Wyckoff, H. 60

Young, Thomas (1773—1829) 54, 57, 119
Yukawa, Hideki (n. 1907) 146

Zahariasen, W.H. 172
Zeeman Pieter (1865—1943) 59, 105, 143, 187

CUPRINS

Cuvînt înainte 5
Prefață 7
Introducere 9
1. Măsura timpului 20
2. Mecanica 25
3. Gravitația și acțiunea la distanță..... 42
4. Optica 49
5. Electricitatea și magnetismul..... 61
6. Sistemul de referință în fizică..... 86
7. Fundamentele teoriei căldurii 111
8. Principiul conservării energiei 119
9. Termodinamica 130
10. Atomistica 135
11. Fizica nucleară 152
12. Fizica cristalelor 162
13. Radiația termică 173
14. Fizica cuantică 181

ANEXE:

Drumul meu în fizică (Autobiografie).... 197
I.V.Kuznețov despre cartea lui Max von Laue „Istoria fizicii“ 237
Indice de nume 261

Redactor resp. de carte: DINU-IOANIȚIU NICHITA
Tehnoredactor: GHEORGHE POPOVICI

Dat la cules 13.10.1964. Bun de tipar 02.02.1965. Tiraj 15 000 + 130 ex. legate 1/1. Hîrtie scris II A, de 63 g/m². Format 54×84/16. Coli editoriale 12,21. Coli tipar 17,00 + 1 planșe. A. 15 488. Indici de clasificare zecimală: pentru bibliotecile mari 53(09), pentru bibliotecile mici 53.

Tiparul executat sub comanda nr. 40 815 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii", Piața Scînteii nr. 1 București — R.P.R.

Lei 7,50